

## **Eletroeletrônica III**

## Eletroeletrônica III

© SENAI-SP, 2006

Trabalho organizado a partir de conteúdos extraídos da Intranet pelas CFPs 5.03, 5.68 e 6.02 e editorado por Meios Educacionais da Gerência de Educação da Diretoria Técnica do SENAI-SP para o curso Técnico de Manutenção Eletromecânica.

|                          |                                   |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Coordenação técnica      | Airton Almeida de Moraes (GED)    |
| Organização de conteúdos | Juliano Vagner Ribeiro (CFP 5.68) |
| Capa                     | José Joaquim Pecegueiro (GED)     |
| Coordenação editorial    | Gilvan Lima da Silva (GED)        |

SENAI Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial  
Departamento Regional de São Paulo  
Av. Paulista, 1.313 - Cerqueira César  
São Paulo - SP  
CEP 01311-923

Telefone (0XX11) 3146-7000  
Telefax (0XX11) 3146-7230  
SENAI on-line 0800-55-1000

E-mail [senai@sp.senai.br](mailto:senai@sp.senai.br)  
Home page <http://www.sp.senai.br>

# Sumário

## **Circuitos Lógicos Programáveis - Teoria**

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Sistemas de numeração      | 5  |
| Códigos binários           | 9  |
| Códigos hexadecimais       | 13 |
| Blocos lógicos             | 15 |
| Tabela-verdade             | 17 |
| Relés programáveis         | 21 |
| Controladores programáveis | 25 |
| Teoria de controle         | 45 |
| Redes industriais          | 63 |

## **Circuitos Lógicos Programáveis - Ensaios**

|   |     |
|---|-----|
| Elaborar programa para um comando simples       | 87  |
| Elaborar programa para acionamento de pistão    | 89  |
| Elaborar programa para reversão de motor        | 91  |
| Elaborar programa para pisca-pisca              | 93  |
| Elaborar uma partida de motor estrela-triângulo | 95  |
| Elaborar um semáforo                            | 97  |
| Elaborar uma partida de motor com compensadora  | 99  |
| Elaborar programa para carimbadeira             | 101 |
| Automatizar uma furadeira                       | 103 |
| Automatizar uma estufa                          | 105 |

## **Sensores**

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Sensoriamento           | 107 |
| Sensores industriais    | 121 |
| Sensores fotoelétricos  | 145 |
| Sensores de temperatura | 155 |
| Referências             | 171 |



# Sistemas de numeração

## Conceituação

Um **sistema de numeração** define o código, isto é, o conjunto de símbolos representativos de uma quantidade, estabelecendo os procedimentos de contagem e de operações aritméticas relativas ao sistema.

## Estrutura

Na estrutura de um sistema de numeração encontramos as seguintes partes:

- Código;
- Notação posicional;
- Base.

## Código

### Descrição

Conjunto de símbolos representativos de uma quantidade.

### Exemplo

Toda numeração romana é representada pelo conjunto de códigos  $\{I, V, X, L, C, D, M\}$ .

O sistema decimal é composto pelos símbolos  $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ .

## Notação Posicional

### Descrição

O dígito assume diferentes valores, conforme as diferentes posições que ocupa. Em outras palavras, a **posição relativa** do símbolo numérico determina valores diferentes.

### Exemplo

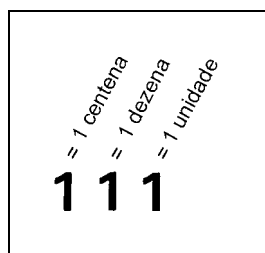
Sistema sem notação posicional

No sistema de numeração romano uma letra corresponde sempre a um valor fixo.

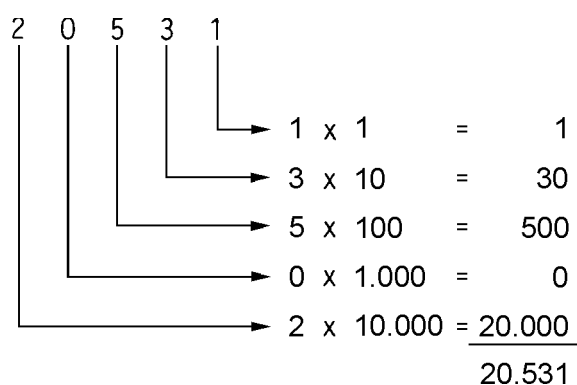
Assim “C” é sempre igual a 100, enquanto “L” é igual a 50. Deste modo, “CL” é igual a 150.

### Sistema com notação posicional

O sistema de numeração decimal, que utilizamos habitualmente, é organizado de tal forma que o dígito assume diferentes valores de acordo com a sua posição dentro do número.



Por exemplo, o número 20.531



## **Base**

### **Descrição**

A base numérica caracteriza o sistema utilizado e é dada pelo número de símbolos que compõem o código.

### **Exemplo**

Analisando a constituição do número 20.531, percebe-se que a seqüência dos valores posicionais, a partir da posição da unidade, é 1, 10, 100 e 1.000, o que sucessivamente é igual a  $10^0$ ,  $10^1$ ,  $10^2$ ,  $10^3$  e  $10^4$ .

Logo, o valor posicional é dado pela potência sucessiva da base numérica do sistema de numeração. No sistema decimal, trabalha-se com a base numérica 10.





# Códigos binários

## Descrição

Os **códigos binários** são aqueles que se utilizam de somente dois símbolos (1 e 0) para a representação de uma quantidade.

## Classificação

Os códigos binários mais usados são:

- Binário natural;
- BCD;
- BCD-AIKEN;
- Johnson.

## Binário natural

### Descrição

O código de representação do sistema de numeração binário é chamado código binário natural (recebe também a denominação de binário puro).

### Exemplo

| decimal | binário natural |
|---------|-----------------|
| 37      | 100101          |

## BCD

“*Binary Coded Decima*” ou BCD é um código que utiliza números binários para representar os dígitos de um número decimal.

Cada grupo de 4 dígitos representa um dígito do número decimal.

### Exemplo

|         |      |      |      |      |  |
|---------|------|------|------|------|--|
| decimal | BCD  |      |      |      |  |
| 3 7     | 0011 | 0111 |      |      |  |
| 825     | 1000 | 0010 | 0101 |      |  |
| 8888    | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |  |

## BCD-AIKEN

### Descrição

O código BCD-AIKEN codifica os dígitos do número decimal através de valores binários complementares de nove (9).

Cada dígito decimal é representado por um grupo de quatro bits, sendo os valores posicionais destes bits iguais a 2, 4, 2 e 1 conforme a tabela:

| Dígito decimal | BCD-AIKEN | $P_3 = 2$ | $P_2 = 4$ | $P_1 = 2$ | $P = 1$ |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| 0              | 0         | 0         | 0         | 0         | 0       |
| 1              | 0         | 0         | 0         | 0         | 1       |
| 2              | 0         | 0         | 0         | 1         | 0       |
| 3              | 0         | 0         | 0         | 1         | 1       |
| 4              | 0         | 1         | 0         | 0         | 0       |
| 5              | 1         | 0         | 0         | 1         | 1       |
| 6              | 1         | 1         | 0         | 0         | 0       |
| 7              | 1         | 1         | 0         | 0         | 1       |
| 8              | 1         | 1         | 1         | 0         | 0       |
| 9              | 1         | 1         | 1         | 1         | 1       |

**Exemplos**

| Decimal | BDC-AIKEN |      |      |      |      |
|---------|-----------|------|------|------|------|
|         |           |      |      |      |      |
| 825     | 1110      | 0010 | 1011 |      |      |
| 8888    | 1110      | 1110 | 1110 | 1110 | 1110 |

**Johnson**

**Descrição**

O código Johnson, como o código BCD, utiliza números binários para representar o valor de dígitos decimais.

É um código progressivo, na medida em que as combinações adjacentes (um número em relação ao seu anterior ou posterior), diferem somente por um bit.

| Dígito decimal | Código Johnson |
|----------------|----------------|
| 0              | 0 0 0 0 0      |
| 1              | 0 0 0 0 1      |
| 2              | 0 0 0 1 1      |
| 3              | 0 0 1 1 1      |
| 4              | 0 1 1 1 1      |
| 5              | 1 1 1 1 1      |
| 6              | 1 1 1 1 0      |
| 7              | 1 1 1 0 0      |
| 8              | 1 1 0 0 0      |
| 9              | 1 0 0 0 0      |

**Exemplo**

| Decimal | Código Johnson |       |       |       |       |
|---------|----------------|-------|-------|-------|-------|
|         |                |       |       |       |       |
| 825     | 11000          | 00011 | 11111 |       |       |
| 8888    | 11000          | 11000 | 11000 | 11000 | 11000 |



# Códigos hexadecimais

## Introdução

O código hexadecimal, como o nome já diz, utiliza a base 16.

## Descrição

O **código hexadecimal** é composto por 16 símbolos, representados pelos símbolos de 0 a 9 e pelas letras A, B, C, D, E, F.

## Comentário

Cada dígito usa 4 bits, e como podemos ter 16 combinações ( $2^4$ ) com 4 bits cada uma, dispomos assim de um aproveitamento total devido à utilização de símbolos e letras.

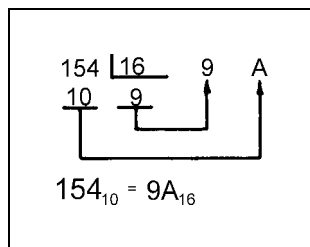
## Exemplo

| Hexadecimal | Decimal | Binário |
|-------------|---------|---------|
| 00          | 0       | 0000    |
| 01          | 1       | 0001    |
| 02          | 2       | 0010    |
| 03          | 3       | 0011    |
| 04          | 4       | 0100    |
| 05          | 5       | 0101    |
| 06          | 6       | 0110    |
| 07          | 7       | 0111    |
| 08          | 8       | 1000    |
| 09          | 9       | 1001    |
| 0A          | 10      | 1010    |
| 0B          | 11      | 1011    |
| 0C          | 12      | 1100    |
| 0D          | 13      | 1101    |
| 0E          | 14      | 1110    |
| 0F          | 15      | 1111    |

**Exemplo**

$$154_{10} = X_{16}$$

portanto...



# Blocos lógicos

## Descrição

Um bloco lógico é todo e qualquer arranjo físico capaz de efetuar uma operação lógica.

## Classificação

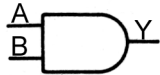
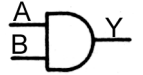
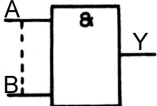
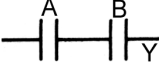

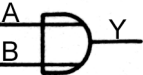
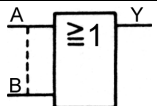
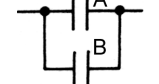


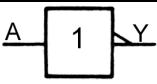
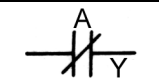
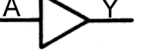

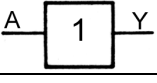
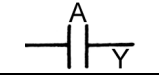
Os blocos lógicos classificam-se em:

- Básicos;
- Derivados.

## Característica

As tabelas a seguir apresentam as principais características dos blocos lógicos básicos e derivados.

### Blocos lógicos básicos

| Função | Simbologia  |   |  | Equivalente elétrico  | Equação         |
|--------|---|---|--|---|-----------------|
|        | ASA   | DIN (40700)   | ABNT   |   |                 |
| E      |  |  |  |  | $Y = A \cdot B$ |
| OU     |  |  |  |  | $Y = A + B$     |
| NÃO    |  |  |  |  | $Y = \bar{A}$   |
| SIM    |  |  |  |  | $Y = A$         |

*Blocos lógicos derivados*

| Função   | Simbologia |             |      | Equivalente elétrico | Equação  |
|----------|------------|-------------|------|----------------------|--|
|          | ASA        | DIN (40700) | ABNT |                      |  |
| NÃO E    |            |             |      |                      | $Y = \overline{A \cdot B}$                                     |
| NÃO OU   |            |             |      |                      | $Y = \overline{A + B}$   |
| OU EXCL. |            |             |      |                      | $Y = A + B$<br>$Y = \overline{A} B + A \overline{B}$           |
| EQUIV.   |            |             |      |                      | $Y = \overline{A + B}$<br>$Y = AB + \overline{A} \overline{B}$ |



# Tabela-verdade

## Apresentação

O estabelecimento de uma **tabela-verdade** é, em geral, o primeiro passo para a análise e compreensão de uma função lógica.

## Descrição

Montar a tabela-verdade é escrever todas as combinações possíveis dos estados lógicos de todas as variáveis da função, incluindo o estado lógico resultante de cada combinação.

## Regra

1. O número de colunas de uma tabela-verdade é igual ao número de variáveis, adicionado a uma coluna de **saída** relativa aos valores resultantes.
2. O número de combinações possíveis de **n** variáveis é  $2^n$ . O número de combinações determina o número de **linhas** da tabela-verdade.

**Processo**

| Se...   | ...então              | Exemplo   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
|---|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|---|---|---|--|
| ...com relação ao número de colunas, a função lógica contém três variáveis de <b>entrada</b> e uma <b>saída</b> ... | $3 + 1 = 4$ colunas   | <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>Y</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table>  | A | B | C | Y |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| A   | B                     | C   | Y |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
|   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| ...com relação ao número de linhas, a função lógica contém três variáveis...  | $2^3 = 8$ linhas      | <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>Y</td> </tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </table>   | A | B | C | Y |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| A   | B                     | C   | Y |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
|   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
|   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
|   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
|   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
|   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
|   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
|   |                       |   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| ...com relação ao número de combinações, a função lógica contém três variáveis...                                   | $2^3 = 8$ combinações | <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>Y</td> </tr> <tr><td>F</td><td>F</td><td>F</td><td> </td></tr> <tr><td>F</td><td>F</td><td>V</td><td> </td></tr> <tr><td>F</td><td>V</td><td>F</td><td> </td></tr> <tr><td>F</td><td>V</td><td>V</td><td> </td></tr> <tr><td>V</td><td>F</td><td>F</td><td> </td></tr> <tr><td>V</td><td>F</td><td>V</td><td> </td></tr> <tr><td>V</td><td>V</td><td>F</td><td> </td></tr> <tr><td>V</td><td>V</td><td>V</td><td> </td></tr> </table> | A | B | C | Y | F | F | F |  | F | F | V |  | F | V | F |  | F | V | V |  | V | F | F |  | V | F | V |  | V | V | F |  | V | V | V |  |
| A   | B                     | C   | Y |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| F   | F                     | F   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| F   | F                     | V   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| F   | V                     | F   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| F   | V                     | V   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| V   | F                     | F   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| V   | F                     | V   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| V   | V                     | F   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |
| V   | V                     | V   |   |   |   |   |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |   |   |   |  |

**Comentário**

Os valores da coluna saída (Y) são funções da situação problema a ser solucionada.

**Procedimento**

**Montar a tabela-verdade**

- Dado Y = verdadeiro se a lâmpada está acesa
- A = verdadeiro se a lâmpada está boa
- B = verdadeiro se o interruptor está ligado

## Passos / procedimentos

### Passo 1

Definir as combinações para os estados lógicos das variáveis A e B.

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
|  |   | A | B |
| 1. lâmpada queimada, interruptor desligado | → | F | F |
| 2. lâmpada queimada, interruptor ligado    | → | F | V |
| 3. lâmpada boa, interruptor desligado      | → | V | F |
| 4. lâmpada boa, interruptor ligado         | → | V | V |

### Passo 2

Montar a tabela-verdade para a situação proposta, considerando que a função Y somente assume valor verdadeiro quando as variáveis das quais depende são verdadeiras ao mesmo tempo.

| A | B | Y |
|---|---|---|
| F | F | F |
| F | V | F |
| V | F | F |
| V | V | V |

### Passo 3

Substituir os valores verdadeiros (V) e falsos respectivamente por 1 e 0, para aplicação da álgebra booleana, quando necessário.

| A | B | Y |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

### Comentário

Quando a lâmpada está queimada, não importa que o interruptor esteja ligado ou desligado, pois a saída será sempre 0.

A esta condição chamamos de **estado irrelevante**, representando na tabela-verdade por um **X**.

**Exemplo**

| A | B | Y |
|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 |
| 0 | X | 0 |
| 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 |

Um estado irrelevante pode aparecer em variáveis de entrada e/ou em de saídas numa tabela-verdade.

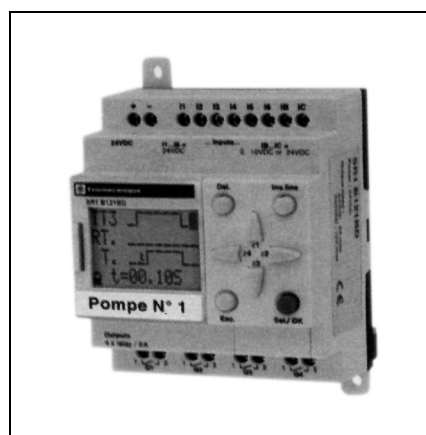
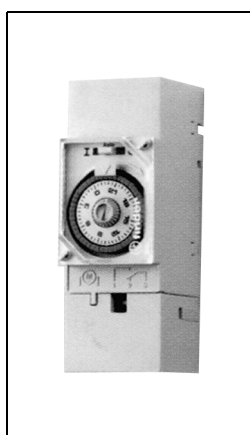
# Relés programáveis

A necessidade de sistemas mais eficientes, facilmente operados e com o baixo custo dos circuitos eletrônicos faz com que relés, que eram controlados apenas por sistemas elétricos e mecânicos, passem a receber circuitos eletrônicos, o que os tornam “inteligentes”.

Com essa composição de relés e circuitos eletrônicos surgem os relés programáveis, hoje muito utilizados em automações residenciais e em pequenas automações industriais.

## Relés Programáveis

Os relés programáveis são equipamentos eletroeletrônicos que permitem uma programação de acionamentos dentro de uma seqüência preestabelecida, como se fossem pequenos controladores lógicos. As figuras seguintes ilustram alguns modelos de relés programáveis.



Os relés programáveis são equipamentos de baixo custo quando comparado aos controladores lógicos programáveis ou ao tradicional painel de comandos elétricos composto de temporizadores e relés.

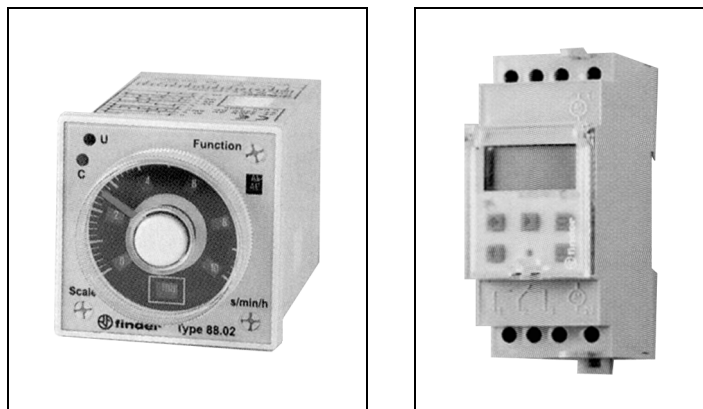
Desse modo, vêm sendo utilizados em automações residenciais e em pequenas automações industriais, substituindo o painel de comando composto por vários relés responsáveis por uma seqüência de acionamentos.

Podemos dividir os relés programáveis em dois grupos básicos, de acordo com a forma de programação:

- Programação por acionadores;
- Programação por software.

### **Relés programáveis por acionadores**

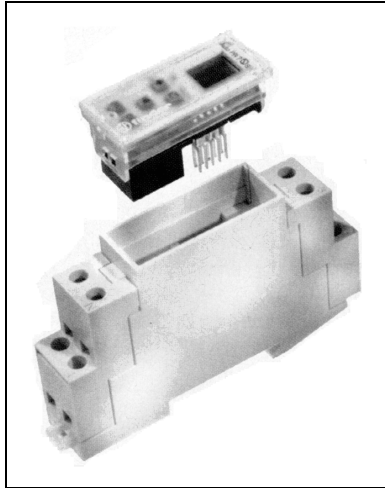
Esse é o modelo mais simples que permite programações de acionamentos de saídas analógicas através de teclas, pinos e acionadores rotativos.



Esse tipo de relé programável tem como principal característica a facilidade de programação.

A programação de cada relé varia de acordo com o fabricante. Assim, é importante consultar o manual técnico ou o catálogo do produto para que faça a programação corretamente.

Existem modelos que facilitam a programação do relé através de uma frente removível, permitindo ao operador que faça a programação em uma bancada, evitando o desconforto e a falta de espaço de um painel. A figura a seguir ilustra um modelo desse tipo.



### **Relés programáveis por softwares**

Esse relé programável se assemelha a um pequeno CLP com a diferença de possuir menos recursos e menor quantidade de entradas e saídas, porém com a vantagem de ter um custo menor e a forma de programação mais simples. A figura seguinte apresenta um modelo de relé programável por software.



Os softwares são voltados ao objeto, o que permite a programação através de funções: temporização, contador, comparação, portas lógicas e outros.

A programação de cada relé varia de acordo com o fabricante, desta forma, para que o operador crie programas para os relés programáveis por software, é necessário que se consulte o manual técnico do equipamento.

Com a utilização desse componente, comandos elétricos compostos por contadores e relés podem ser substituídos por uma programação em um relé programável.

A utilização de relés programáveis, seja por softwares ou acionadores, simplificou muito a tarefa de realizar pequenas automações residenciais ou industriais.



# Controladores programáveis

O controlador programável, ou simplesmente CP, tem revolucionado os comandos e controles industriais desde o seu surgimento na década de 70.

Antes do surgimento dos CP as tarefas de comando e controle de máquinas e processos industriais eram feitas por relés eletromagnéticos, especialmente projetados para este fim e que ainda hoje se parecem bastante com o dispositivo eletromecânico inventado por Samuel F.B Morse em 1836.

O primeiro CP surgiu na indústria automobilística, até então um usuário em potencial dos relés eletromagnéticos utilizados para controlar operações seqüenciadas e repetitivas numa linha de montagem. Compunha-se de circuitos eletrônicos montados com componentes semi-condutores como transistores, CIs, etc.

Basicamente, um controlador programável apresenta as seguintes características:

- Hardware e/ou dispositivo de controle de fácil e rápida programação ou reprogramação, com a mínima interrupção na produção;
- Capacidade de operação em ambiente industrial sem o apoio de equipamentos ou hardware específicos;
- Sinalizadores de estado e módulos tipo *plug-in* de fácil manutenção e substituição;
- Hardware ocupando espaço reduzido e apresentando baixo consumo de energia;
- Possibilidade de monitoração do estado e operação do processo ou sistema, através da comunicação com computadores;
- Compatibilidade com diferentes tipos de sinais de entrada e saída;
- Capacidade de alimentar, de forma contínua ou chaveada, cargas que consomem correntes de até 2A;
- Hardware de controle que permite a expansão dos diversos tipos de módulos, de acordo com a necessidade;
- Custo de compra e instalação competitivo em relação aos sistemas de controle convencionais;
- Possibilidade de expansão da capacidade de memória.

## **Evolução dos controladores programáveis**

Inicialmente projetados para substituírem os sistemas de controle por relés, os CPs, limitavam-se a aplicações envolvendo máquinas e processos de operações repetitivas.

Com o advento e a conseqüente evolução tecnológica dos microprocessadores, os CPs tiveram suas funções ampliadas, aumentando consideravelmente sua capacidade e flexibilidade operacionais.

O ciclo evolutivo dos controladores programáveis é o seguinte:

- 1968 Projeto de um CP para a General Motors Co., com o objetivo de substituir os sistemas de controle a relés.
- 1969 Primeiro CP fabricado para indústria automobilística com componentes equivalentes aos relés.
- 1971 Primeira aplicação de um CP fora da indústria automobilística.
- 1972 Introdução de instruções de temporização e contagem nos CPs.
- 1973 Introdução de operações aritméticas, controle de impressão, movimentação de dados e operações matriciais.
- 1974 Introdução de terminais de programação com TRC (tubos de raios catódicos).
- 1975 Introdução de controle análogo PID (proporcional, integral e derivativo).
- 1976 Primeira aplicação de um CP numa configuração hierárquica, como parte de um sistema integrado de fabricação.
- 1977 Introdução de CPs bastante compactos, baseados na tecnologia dos microprocessadores.
- 1978 Os CPs obtêm grande aceitação no mercado norte-americano, com vendas aproximadas de 80 milhões de dólares.

- 1979 Integração entre o sistema de comunicação do CP e a operação de uma planta individual.
- 1980 Introdução de módulos inteligentes de entrada e saída, proporcionando alta velocidade e controle preciso em aplicações de posicionamento.
- 1981 Introdução de redes de comunicação permitindo que o CP se comunique com dispositivos inteligentes como computadores, leitores de códigos, etc.
- 1982 Introdução de mini e micros CPs.
- 1983 Introdução de redes de controle, permitindo que vários CPs acessem os mesmos módulos I/O.

Atualmente os CPs apresentam as seguintes características técnicas:

- Hardware;
- Software.

#### **Hardware**

- Maior velocidade de varredura, devido à utilização de tecnologia *bit-slice* e microprocessadores de 16 a 32 bits;
- Módulos de entrada e saída de alta densidade, possibilitando baixo custo e espaços reduzidos;
- Módulos inteligentes, microprocessados, que permitem controles descentralizados (módulo PID, comunicação ASC II, posicionadores, emissores de relatório, etc.);
- Interligação com módulos periféricos que permitem ao operador interfacear, armazenar e documentar as informações do processo.

#### **Software**

- Utilização de linguagem de programação de alto nível, permitindo grande flexibilidade de programação quando da utilização de periféricos;
- Representação do programa em diagrama de contatos, diagrama de blocos funcionais e lista de instrução;
- Diagnósticos e detenção de falhas na monitoração de máquinas e processos;
- Introdução da matemática de ponto flutuante, tornando possível o desenvolvimento de cálculos complexos.

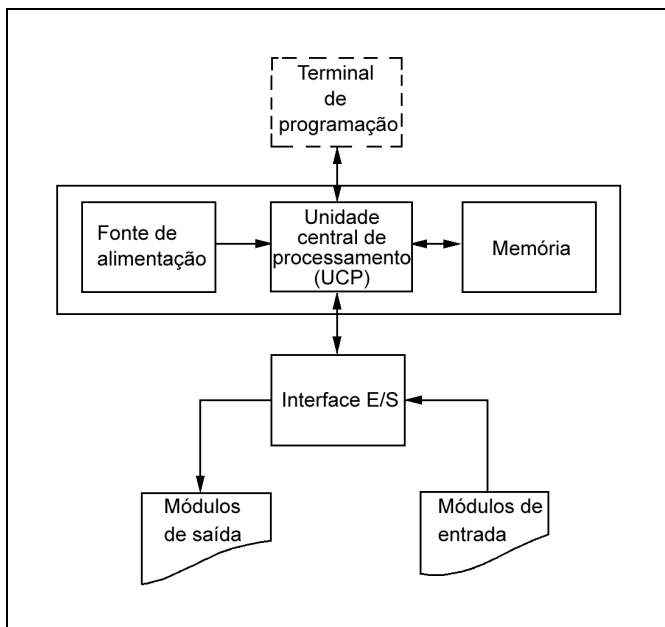
Os sistemas de controle baseados em controladores programáveis (CPs) são aplicados nas mais diferentes áreas, a saber:

- Petroquímica;
- Aeronáutica;
- Refinarias;
- Mineração (ouro, carvão, minério de ferro, etc.);
- Madeiras;
- Indústrias de embalagens;
- Fábrica de vidro;
- Fábrica de borracha;
- Indústrias de produtos alimentícios;
- Programa espacial;
- Usinas hidroelétricas;
- Fábricas de automóveis;
- Indústrias de plásticos;
- Parque de diversões;
- Transportadoras, etc.

### **Estrutura básica de um controlador programável**

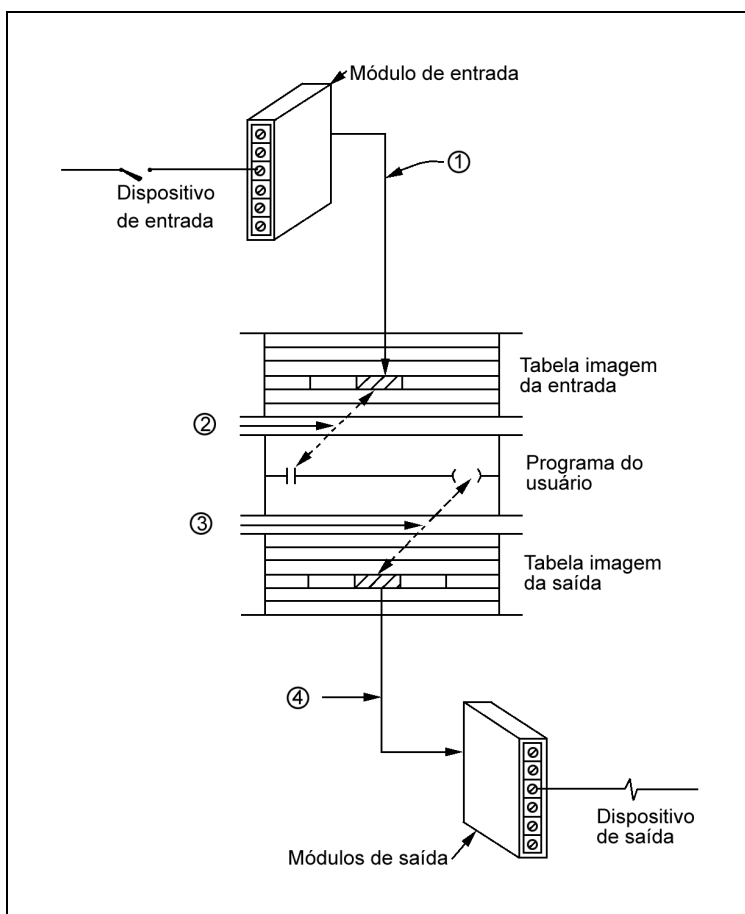
A estrutura básica de um controlador programável adveio do hardware básico de um computador. Podemos afirmar que um CP é um computador para aplicações específicas, pois utiliza a mesma unidade central de processamento (UCP) de um computador comum, acrescida de uma fonte de alimentação com ótimas características de filtragem/estabilização, interface E/S imune a ruídos, e de um invólucro para aplicações industriais.

O diagrama de blocos abaixo ilustra a estrutura básica de um controlador programável.



### Estrutura

A operação simplificada de um CP pode ser representada pela estrutura abaixo.



| <b>Parte</b> | <b>Função</b>   |
|--------------|---|
| 1            | Processador do CP efetuando a leitura contínua dos estados no módulo de entrada e a atualização da tabela imagem das entradas.      |
| 2            | Processador do CP executando continuamente o programa lógico do usuário, baseado na tabela imagem das entradas.                     |
| 3            | Processador do CP atualizando continuamente a tabela imagem das saídas, baseado na solução do programa lógico do usuário.           |
| 4            | Processador do CP ativando ou desativando continuamente os estados dos módulos de saída de acordo com a tabela (imagem das saídas). |

Quando se tratar de controladores programáveis (CPs), o termo processador será utilizado para identificar o hardware do qual a UCP faz parte.

Quando se tratar de computadores, o termo UCP será utilizado para identificar o hardware do processador central.

### **Processador**

A palavra processador é utilizada para identificar a parte do controlador programável responsável pela execução de todas as suas funções.

O processador de um controlador programável assemelha-se à UCP de um computador quanto à concepção do hardware, pois ambos compõem-se de blocos funcionais similares.

O processador tem a função de coletar os dados enviados pelos módulos de entrada assim como selecionar os dados previamente armazenados, efetuando o processamento dos mesmos de acordo com o programa do usuário.

O resultado lógico destas operações (RLO) será posteriormente enviado para os módulos de saída.

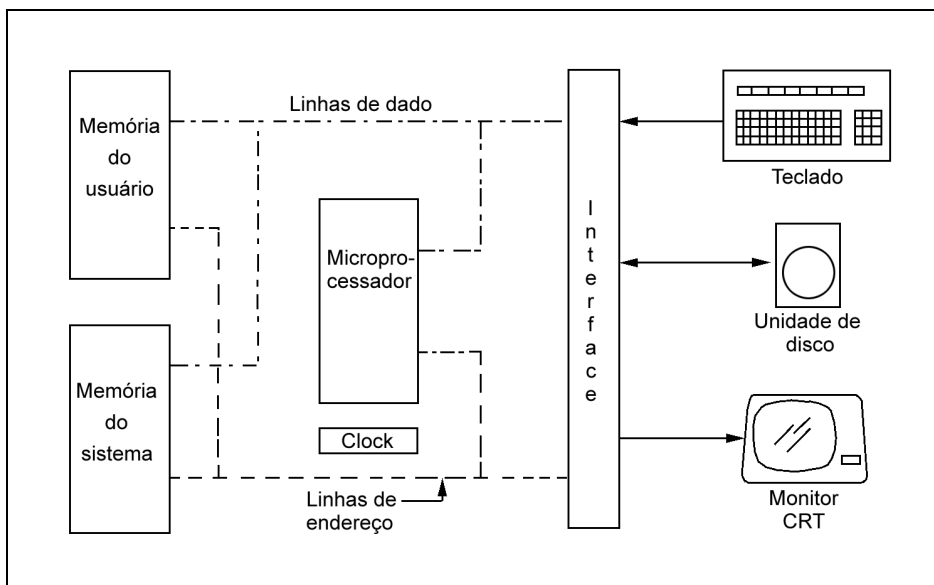
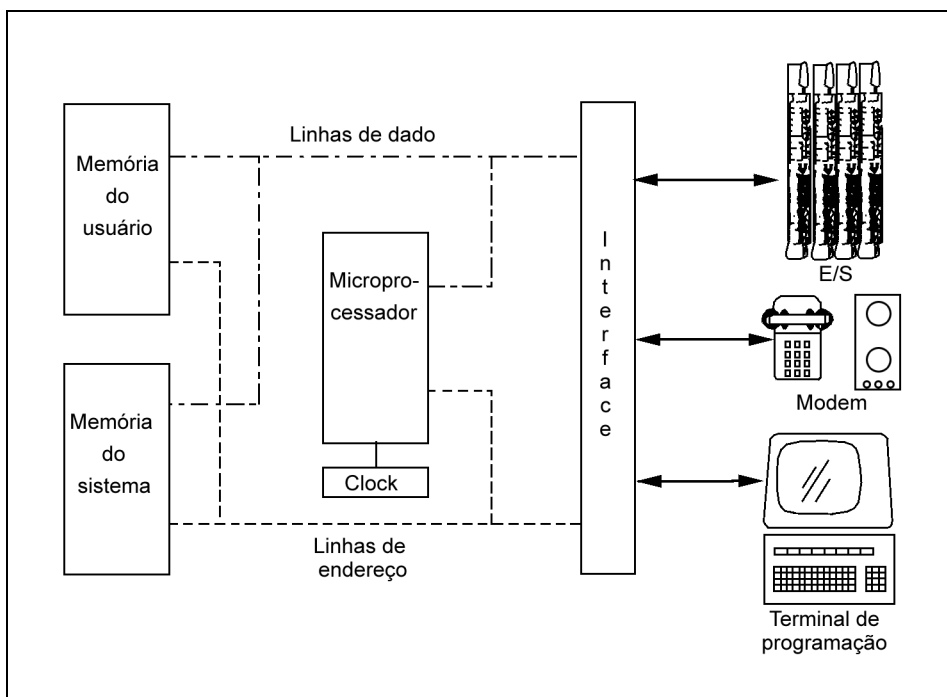


Diagrama funcional simplificado de um controlador programável.



Com exceção dos dispositivos periféricos, os sistemas representados acima parecem idênticos. A diferença entre um CP e um computador está na forma como o microprocessador (UCP) foi configurado e programado.

Um controlador programável baseado no microprocessador 6800 tem o seu processador configurado para executar operações programadas em linguagem de alto nível, como a linguagem de contatos de relé.

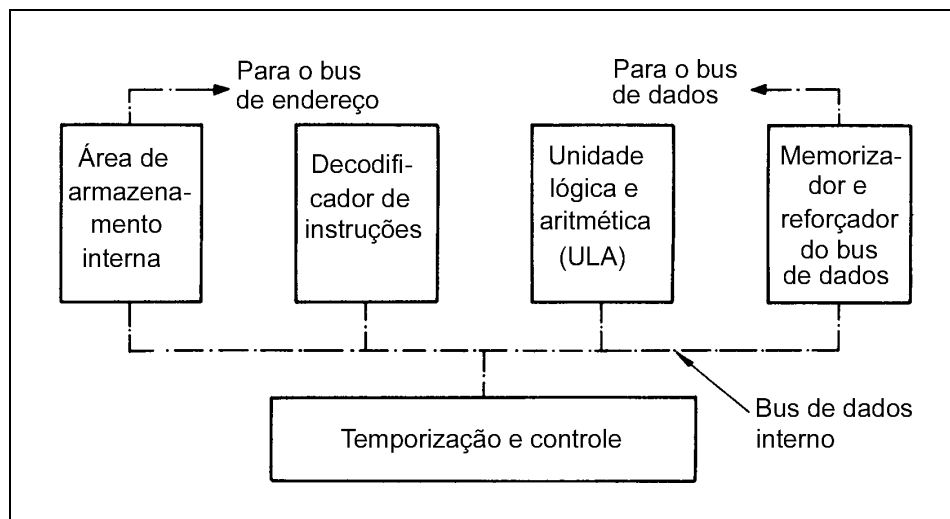
Um computador baseado no mesmo microprocessador terá a sua UCP configurada para executar operações programadas em *basic*, por exemplo.

### Unidade central de processamento (UCP)

A unidade central de processamento (UCP) é parte integrante de todos os controladores programável (CPs), independente do seu tamanho.

A UCP normalmente é composta por um microcomputador de uso comercial das famílias Z80, 8080, 8085, 6800 ou 9900. Alguns fabricantes de CPs utilizam microprocessadores “dedicados”, isto é, projetados para aplicações específicas (8031).

A estrutura abaixo ilustra os blocos funcionais que compõem um microprocessador típico.



| Parte                       | Função   |
|-----------------------------|--|
| ALU                         | É o bloco de maior importância dentro de um microprocessador, pois faz a vez de uma máquina de somar poderosíssima, cujas teclas são impulsos elétricos gerados nos blocos de temporização/control e decodificador de instruções.  |
| Decodificador de instruções | As instruções e comandos programados na memória do usuário contida no processador serão interpretadas pelo decodificador de instruções do microprocessador de acordo com os parâmetros de tempo e controle.  |
| Temporização e controle     | Após a decodificação, o bloco de temporização e controle em conjunto com o bloco decodificador de instruções emitirá a seqüência correta de sinais elétricos para o bloco ULA e outros elementos externos, a fim de que se iniciem as ações de processamento necessárias à execução da presente instrução. |



Além de efetuar operações de soma, a unidade lógica aritmética ULA tem por função tomar decisões e manipular dados. Utilizando-se de informações guardadas na área de armazenamento interna do microprocessador, bem como das áreas de memórias externas à ULA é capaz de executar operações lógicas e matemáticas.

Resumindo, podemos concluir que a ULA é quem determina ao microcomputador o que fazer e como fazer.

### **Sistema de memória**

O sistema de memória é uma parte de vital importância no processador de um controlador programável, pois armazena todas as instruções assim como os dados necessários para executá-las.

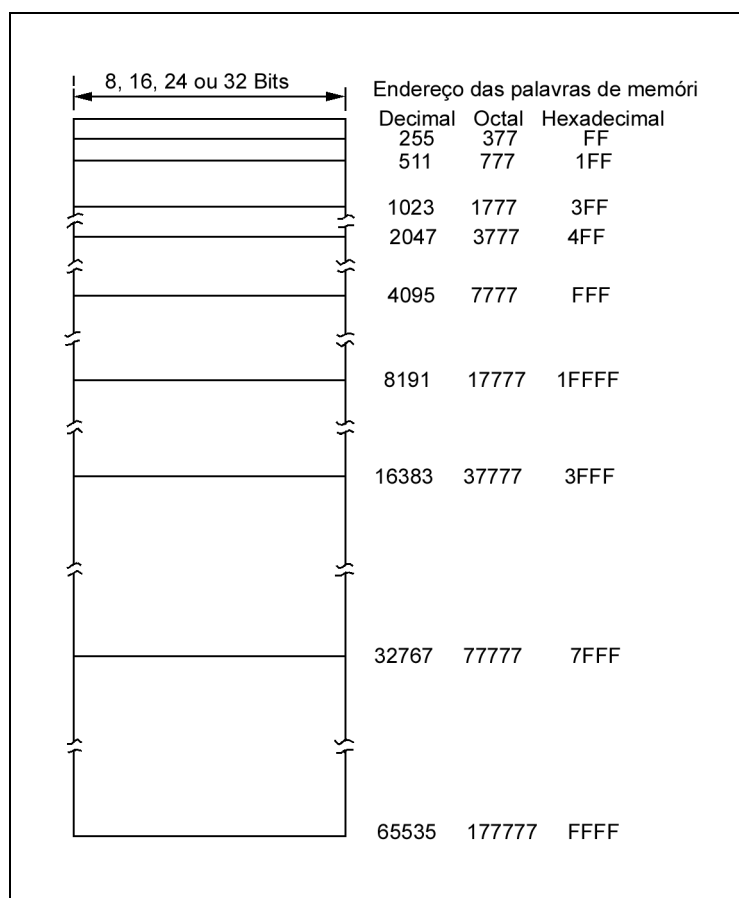
Existem diferentes tipos de sistemas de memória. A escolha de um determinado tipo depende:

- Do tipo de informação a ser armazenada;
- Da forma como a informação será processada pela UCP.

As informações armazenadas num sistema de memória são chamadas palavras de memória, que são formadas sempre pelo mesmo número de bits.

A capacidade de memória de um CP é definida em função do número de palavras de memória previstas para o sistema.

A capacidade de memória de um CP pode ser representada por um mapa chamado mapa da memória.



### Arquitetura da memória de um CP

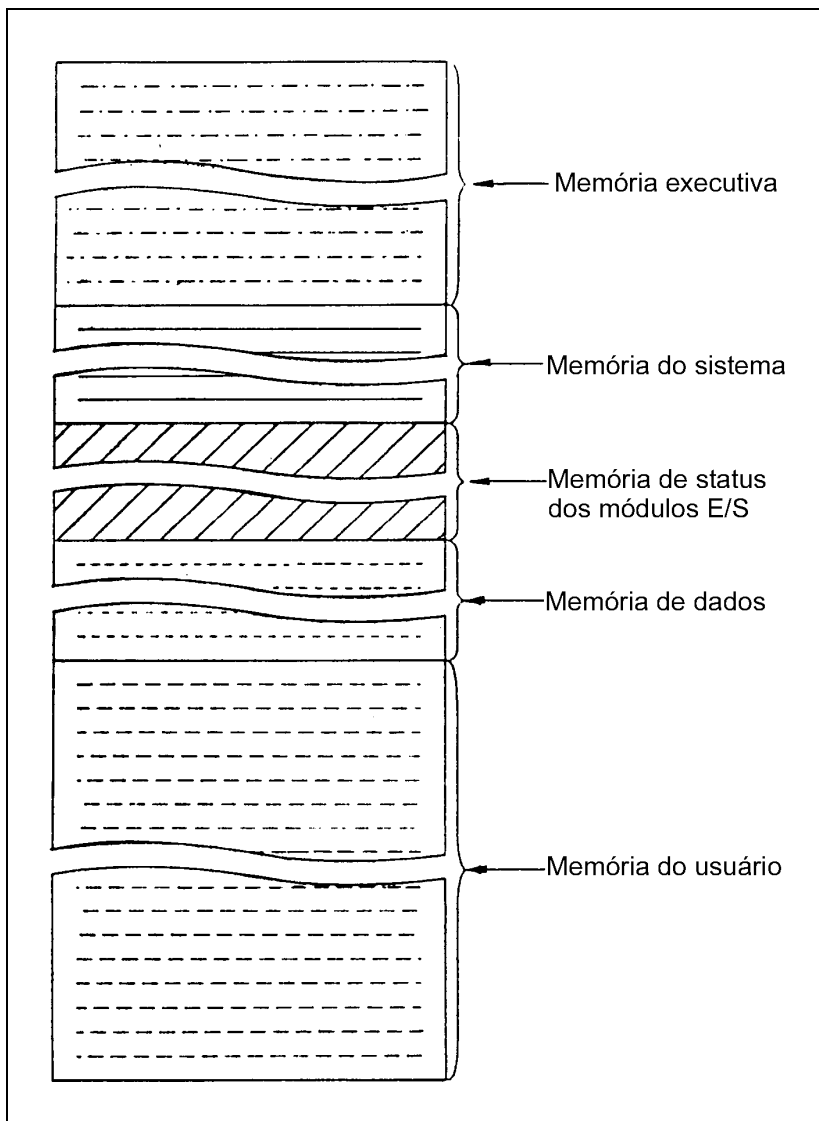
A arquitetura da memória de um controlador programável pode ser constituída por diferentes tipos de memória.

| Tipo de memória  | Descrição                                       | Observação   |
|--|---|--|
| RAM <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dinâmica</li> <li>• Estática</li> </ul> | Memória de acesso randômico                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Volátil</li> <li>• Gravada pelo usuário</li> </ul>  |
| ROM  | Memória somente para leitura                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Não volátil</li> <li>• Não permite apagamento</li> <li>• Gravada pelo fabricante</li> </ul>   |
| PROM   | Memória programável somente de leitura          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Não volátil</li> <li>• Não permite apagamento</li> <li>• Gravada pelo usuário</li> </ul>      |
| EPROM  | Memória programável/apagável somente de leitura | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Não volátil</li> <li>• Apagamento por ultravioleta</li> <li>• Gravada pelo usuário</li> </ul> |
| EEPROM<br>EPROM<br>EAROM   | Memória programável/apagável somente de leitura | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Não volátil</li> <li>• Apagável eletricamente</li> <li>• Gravada pelo usuário</li> </ul>      |

Independentemente dos tipo de memórias utilizadas, o mapa da memória de um controlador programável pode ser dividido em cinco áreas principais:

- Memória executiva;
- Memória do sistema;
- Memória de status dos módulos E/S (tabela imagem);
- Memória de dados;
- Memória do usuário.

Veja ilustração abaixo.



### **Memória executiva**

É formada por memórias do tipo ROM ou PROM, pois o conteúdo das mesmas (sistema operacional) foi desenvolvido pelo fabricante do CP e portanto não deverá ser alterado pelo usuário.

Armazenar o sistema operacional, o qual é responsável por todas as funções e operações que podem ser executadas por um CP.

### **Memória do sistema**

Esta área de memória é formada por memórias do tipo RAM, pois terá o seu conteúdo constantemente alterado pelo sistema operacional.

Armazenar resultados e/ou informações intermediários, gerados pelo sistema operacional, quando necessário.

Não pode ser alterada pelo usuário.

### **Memória de status dos módulos E/S**

As memória de status dos módulos E/S são do tipo RAM. A UCP, após ter efetuado a leitura dos estados de todas as entradas, armazenará essas informações na área denominada status das entradas (ou imagem das entradas). Após o processamento dessas informações, os resultados lógicos (RLO) serão armazenados na área denominada status das saídas (ou imagem das saídas) antes de serem enviados para as respectivas saídas.

Armazenar o estado dos sinais de todas as entradas e saídas de cada módulo E/S.

À medida que o programa vai sendo executado, a UCP vai armazenando os resultados na área denominada status das saídas (tabela imagem das saídas), até o término da seqüência de operações contidas no programa. Logo após, essas informações serão transferidas para as respectivas saídas.

Podem ser monitoradas pelo usuário sendo que uma possível alteração só será permitida se contida no programa do usuário.

### **Memória de dados**

As memórias de dados são do tipo RAM. Funções de temporização, contagem ou aritméticas necessitam de uma área de memória para armazenamento de dados, como:

- Valores pré-selecionados ou acumulados de contagem ou temporização;
- Resultados ou variáveis de operações aritméticas;
- Resultados ou dados diversificados a serem utilizados por funções de manipulação de dados.

Armazenar dados referentes ao programam do usuário.

Alguns processadores subdividem a área de memória de dados em duas submemórias:

- Memória para dados fixos;
- Memória para dados variáveis.

A primeira é programada pelo usuário através dos terminais de programação. A segunda é utilizada pelo processador para armazenar os dados acima citados.

### **Memória do usuário**

A UCP efetuará a leitura das instruções contidas nesta área a fim de executar o programa do usuário, de acordo com os procedimentos predeterminados pelo sistema operacional, que se encontra gravado na memória executiva.

Armazenar o programa de controle desenvolvido pelo usuário.

A área de memória destinada ao usuário pode ser configurada de diversas maneiras:

- RAM;
- RAM/EPROM;
- RAM/EAROM

| <b>Tipo de memória</b> | <b>Descrição</b>   |
|------------------------|--|
| RAM                    | A maioria dos CPs utiliza memórias RAM para armazenar o programa do usuário assim como dados internos do sistema.  |
| RAM/EPROM              | <p>O usuário desenvolve o programa e efetua dos testes em RAM. Uma vez checado o programa, este é transferido para EPROM, de onde o processador obterá as informações necessárias.</p> <p><b>Comentário</b><br/> Caso haja necessidade de se alterarem dados ou cálculos durante a execução do programa do usuário, haverá necessidade de um pequeno grupo de memórias RAM para armazenar dados variáveis.<br/> Qualquer alteração futura implicará na reprogramação das EPROMs.</p> |
| RAM/EAROM              | <p>Esta configuração de memória do usuário permite que, uma vez definido o programa, este seja copiado automaticamente em EAROM, bastando que se introduza uma única instrução no CP.</p> <p>Uma vez efetuada a cópia, o CP poderá operar tanto em RAM como em EAROM. Caso haja necessidade de alguma modificação, esta será feita eletricamente.</p>  |

Caso haja falta de energia elétrica, as informações armazenadas em memória RAM serão preservadas devido à existência de baterias de lítio.

A UCP comunica-se com o sistema de memória, através de dois canais (vias de comunicação):

- Bus de endereço;
- Bus de dados.

### **Bus de endereço**

Permite que a UCP se comunique diretamente com qualquer endereço de memória.

### **Bus de dados**

Uma vez selecionado o endereço através do bus de endereço, a UCP poderá efetuar operações de carregamento ou retirada de dados.

Para um microprocessador de oito bits, o bus de endereço terá 16 linhas e o bus de dados oito linhas. Durante a leitura de uma instrução do usuário, a UCP efetua a leitura e decodificação de duas posições consecutivas de memória, o que equivale a um dado de 16 bits.

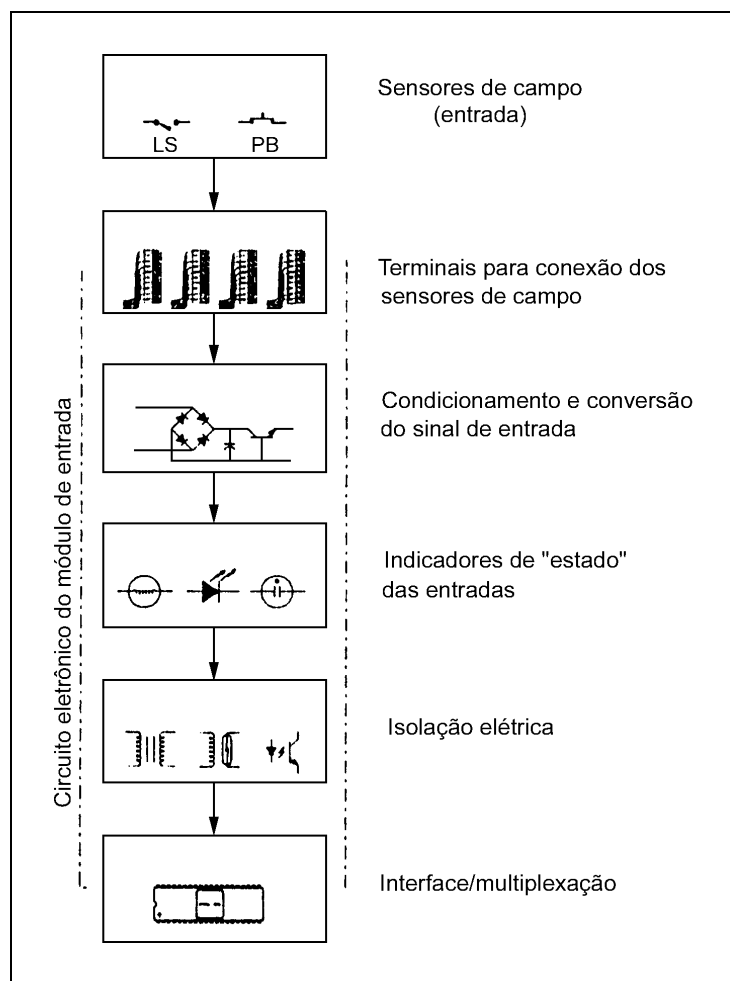
### **Módulo de entrada**

Os módulos de entrada são considerados como elementos de interface entre os sensores localizados no campo e a lógica de controle de um controlador programável (CP).

Os módulos de entrada ou de saída são constituídos de cartões eletrônicos, cada qual com capacidade para receber um certo número de variáveis. Normalmente esses módulos se encontram dispostos em gabinetes juntamente com a fonte de alimentação e a UCP.

A estrutura interna de um módulo de entrada pode ser subdividida em seis blocos principais:

- Sensores de campo (entrada);
- Terminais para conexão dos sensores de campo;
- Condicionamento e conversão do sinal de entrada;
- Indicadores de estado das entradas;
- Isolação elétrica;
- Interface/multiplexação.



| Parte   | Função  |
|---|---|
| Sensores de campo                               | Informar ao controlador programável as condições do processo.                                     |
| Terminais para conexão dos sensores de campo    | Permitir a interligação física entre os sensores de campo e o controlador programável.            |
| Condicionamento e conversão do sinal de entrada | Converter os sinais de campo em níveis baixos de tensão, compatíveis com o processador utilizado. |
| Indicadores de estado das entradas              | Proporcionar indicação visual do estado funcional das entradas contidas num módulo de entrada.    |
| Isolação elétrica                               | Proporcionar isolação elétrica entre os sinais vindos do campo e os sinais do processador.        |
| Interface/multiplexação                         | Informar ao processador o estado de cada variável de entrada.                                     |

Dependendo da natureza do sinal de entrada, podemos dispor dos seguintes tipos de módulos de entrada:

- Alternado (AC);
- Digital;
- Analógico;
- Especial.

| Tipo      | Características  |
|-----------|--|
| AC        | 12 Vac; 24 a 48Vac; 220/240Vac;  |
| Digital   | 120Vac com isolação.<br>12VDC; 12 a 24VDC com resposta rápida; 24 a 48VDC, 12 a 24VDC com suprimento; 12 a 24VDC com dreno; 48VDC com suprimento; 48VDC com dreno.                       |
| Analógico | 1 a 5VDC; 0 a 10VDC; - 10 a +10VDC; 4 a 20mA.  |
| Especial  | TTL com suprimento; TTL com dreno; 5 a 30VDC selecionável; 5VDC contador/decodificador; 12 a 24VDC codificador/contador; termopar; código ASCII; código Gray; pulsos de alta velocidade. |

Os sinais recebidos por um módulo de entrada podem vir de dois tipos de sensores:

- Discretos:
  - chave limite;
  - botoeira;
  - chave digitadora (*thumbwheel*);
  - chave de pressão;
  - fotocélula;
  - contato de relé;
  - chave seletora;
  - teclado.
- Analógico:
  - transdutor de pressão;
  - transdutor de temperatura;
  - célula de carga (*strain gage*);
  - sensores de vazão;

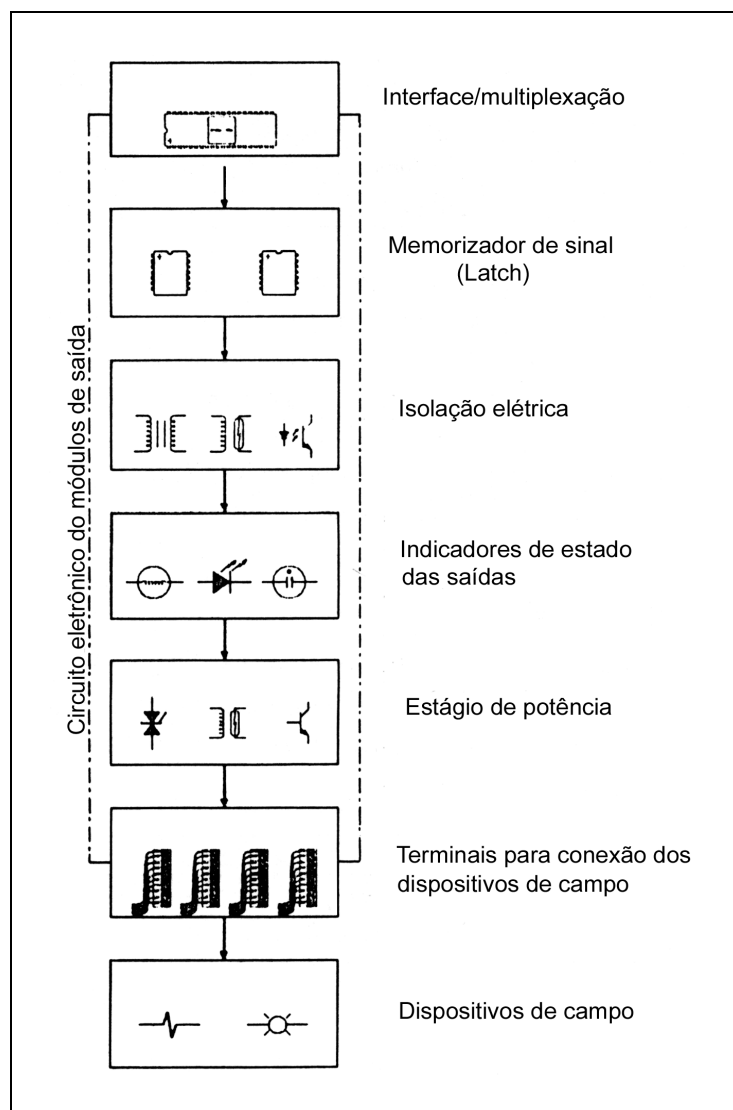


- transdutores de vibração;
- transdutores de corrente;
- transdutores de vácuo;
- transdutores de força.

### Módulo de saída

Os módulos de saída também são considerados como elementos de interface, pois permitem que o processador se comunique com o meio externo.

A estrutura interna de um módulo de saída pode ser subdividida em sete blocos principais, relacionados a seguir.



| Parte  | Função  |
|--|---|
| Interface/multiplexação                          | Recebe os sinais vindos do processador, direcionando-os para as respectivas saídas.   |
| Memorizador de sinal                             | Armazena os sinais que já foram multiplexados pelo bloco anterior.  |
| Isolação elétrica                                | Proporciona isolação elétrica entre os sinais vindos do processador e os dispositivos de campo.   |
| Indicadores de estado das saídas                 | Proporciona indicação visual do estado funcional das saídas contidas num módulo de saída.   |
| Estágios de potência                             | Transforma os sinais lógicos de baixa potência vindos do processador em sinais de potência, capazes de operar os diversos tipos de dispositivos de campo. |
| Terminais para conexão dos dispositivos de campo | Permite a conexão física entre o CP e os dispositivos de campo.   |
| Dispositivos de campo                            | Consiste em dispositivos eletromecânicos que atuam no processo/equipamento, em função dos sinais de controle enviados pelo CP.                            |

Dependendo da natureza dos dispositivos de campo e do tipo de sinal de controle necessário para comandá-los, podemos dispor dos seguintes tipos de módulos de saída:

- Alternado (AC);
- Digital;
- Analógico;
- Especial.

| Tipo      | Características   |
|-----------|---|
| AC        | 12VAC; 24 a 48VAC; 120VAC; 220/240VAC; 120VAC com isolação.   |
| DC        | 12 a 60VDC; 12 a 24VDC com resposta rápida; 24 a 48VDC; 12 a 24VDC com suprimento; 12 a 24VDC com dreno; 48VDC com suprimento; 48VDC com dreno. |
| Analógico | 1 a 5VDC; 0 a 10VDC; -10 a +10VDC; 4 a 20mA.  |
| Especial  | TTL com suprimento; TTL com dreno; 5 a 30VDC selecionável; contato NA; contato NF; saída em ASCII; servo-motor; motor de passo.                 |

Os módulos de saída podem acionar os seguintes tipos de dispositivos de saída:

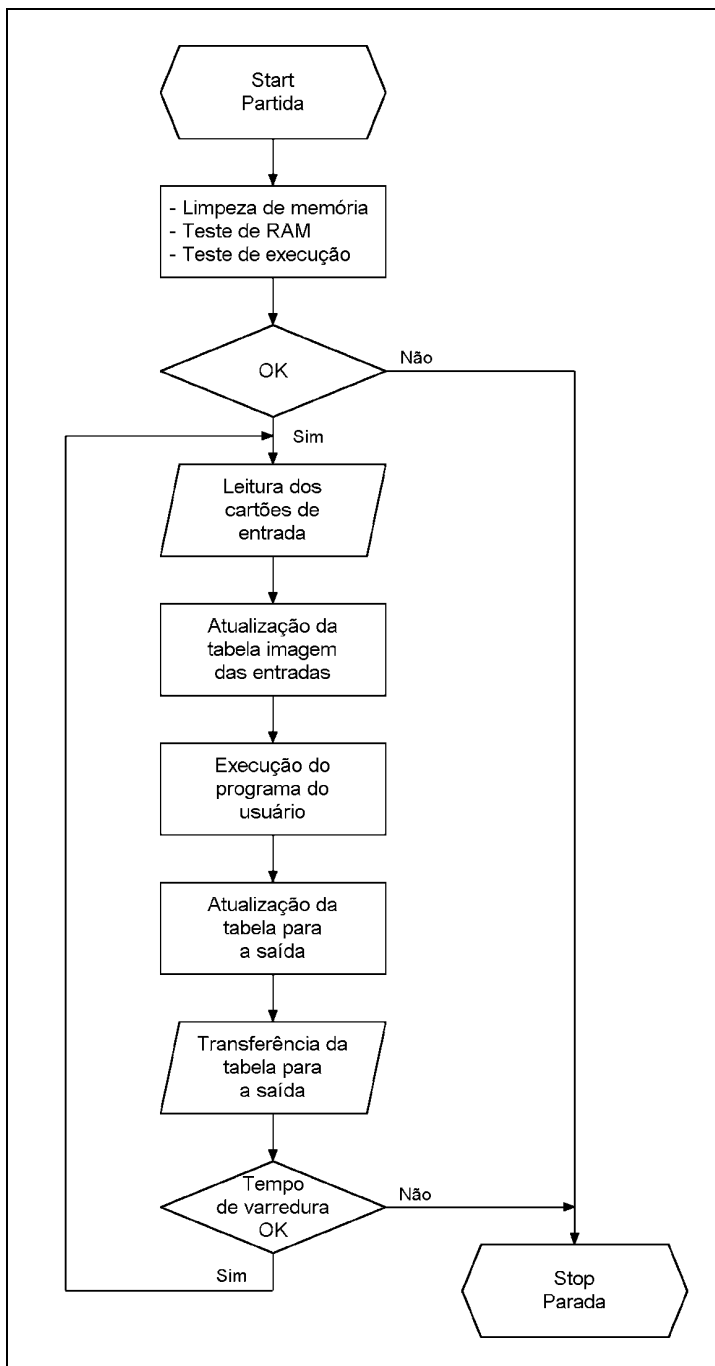
- Discretos:
  - válvula solenóide;
  - controladores de motores;
  - indicadores de painel;
  - contador;
  - display;
  - bobina de relé;
  - sistemas de alarma/segurança;
  - sirena.
- Analógicos:
  - válvula de controle;
  - acionadores AC;
  - acionadores DC.

## Princípio de Funcionamento do CP

O CP realiza continuamente um ciclo de varredura (scan) que consiste em:

- Leitura dos pontos de entrada;
- Execução do programa, que consiste em definir o estado das saída em função das entradas, de acordo com o programa;
- Atualização das saídas.

Esse ciclo de varredura é representado no fluxograma que segue:





# Teoria de controle

As operações associadas ao controle de processos existem na natureza desde que a primeira criatura surgiu na face da Terra. Podemos considerar controle de processo natural as operações que regulam algumas características físicas de suma importância para a vida humana, tais como a temperatura do corpo, a pressão sanguínea, a intensidade de luz na retina, o equilíbrio de líquidos no corpo, etc.

Com o tempo, o homem sentiu a necessidade de regular alguns dos parâmetros físicos externos ao seu meio para manter as condições de vida e assim teve início o controle de processo artificial.

O mercado consumidor cada vez mais competitivo tem exigido das indústrias produtos de melhor qualidade e de custo reduzido. Para atingir tais resultados, não basta apenas a perícia humana, é necessário também um bom nível de automação.

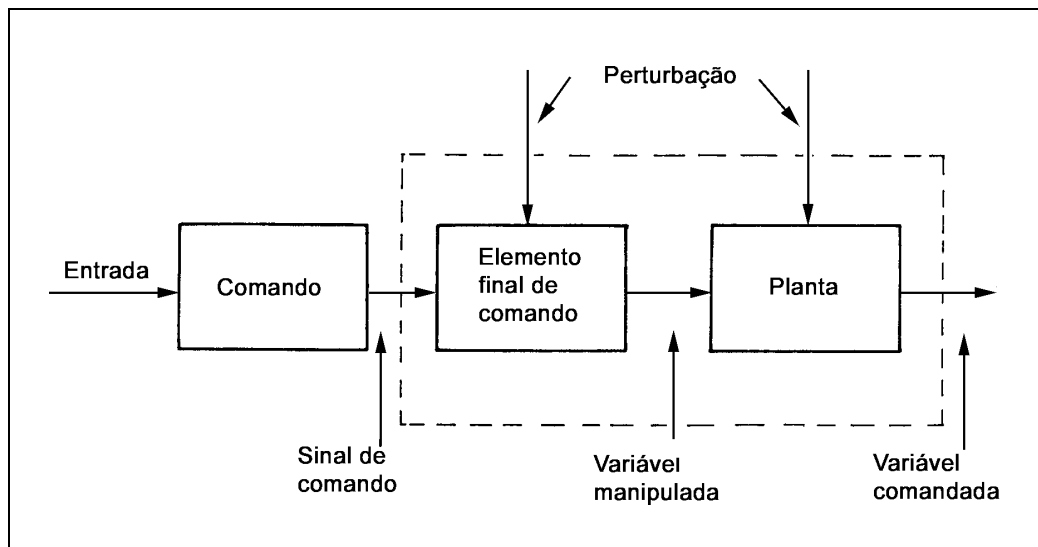
A automação de processos industriais pode ocorrer em duas formas básicas:

- Sistemas de comando;
- Sistemas de controle.

## **Sistemas de comando**

Consiste num conjunto de elemento interligados em malha aberta. As informações processadas por esses elementos apresentam-se num único sentido, isto é, da entrada para a saída.

Veja ilustração abaixo.



| Parte                      | Função  |
|----------------------------|---|
| Comando                    | Comanda o posicionamento do elemento final de controle a fim de que este atue na variável manipulada, de forma a manter a variável comandada dentro do valor desejado.  |
| Elemento final de controle | Atua na variável manipulada em função de um sinal de comando recebido.  |
| Planta                     | Trata-se de um processo ou equipamento industrial, de comportamento dinâmico, sobre o qual atuamos a fim de obtermos o controle de uma determinada variável ou produto. |
| Perturbação                | É um sinal indesejado, pois tende a desestabilizar o sistema e, conseqüentemente, alterar o valor da variável comandada.  |

Os sistemas de comando podem ser classificados quanto:

- Ao modo de atuação do comando;
- À variável de entrada.

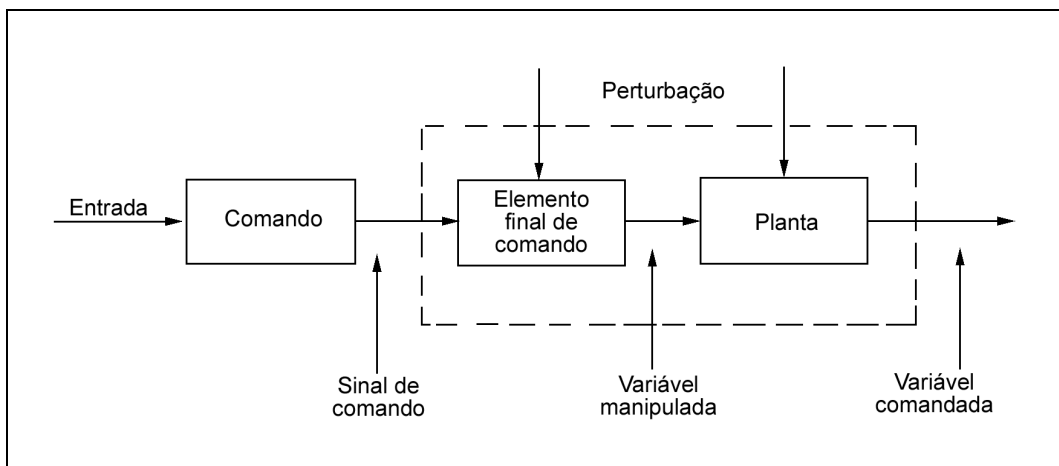
Podem atuar de duas formas:

- Comando simples;
- Comando com neutralização.

### Comando simples

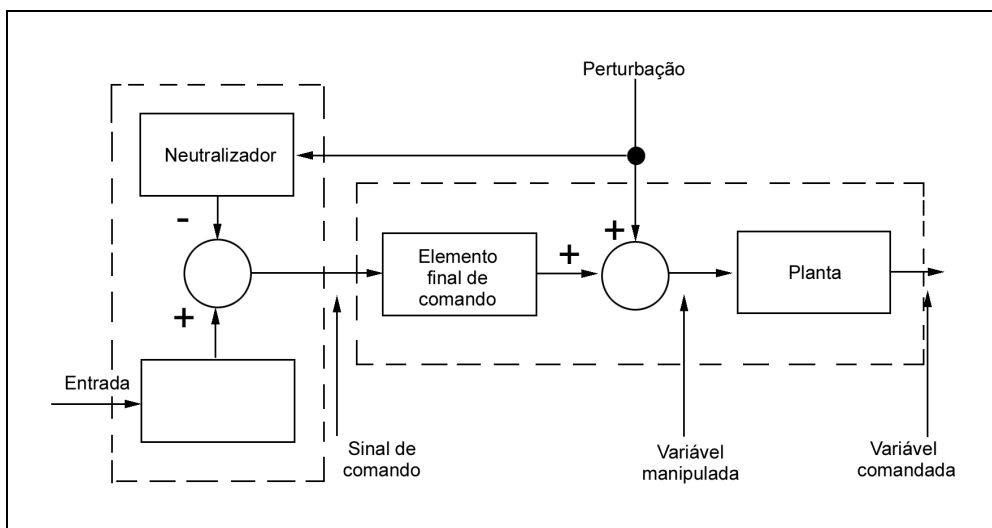
Neste sistema, o comando simples atua diretamente sobre o elemento final de comando.

Neste tipo de sistema de comando, as perturbações não podem ser eliminadas, sendo o seu valor acrescido ou suprimido da variável comandada.



### Comando com neutralização

O sistema de comando com neutralização permite que apenas uma determinada perturbação seja neutralizada a fim de que esta não atue sobre a saída.



### Variável de entrada fixa

Um sistema de comando com entrada fixa é aquele em que a variável de entrada permanece inalterada ao longo do tempo.

Sistema de comando para partida simples de motores elétricos.

### Variável de entrada variável

Um sistema de comando com entrada variável é aquele em que a variável de entrada pode assumir valores diferentes em função do tempo ou de uma seqüência de operação.

### Sistema de comando temporizado

Neste, a variação da entrada de comando ocorre em função somente do tempo. São exemplos deste sistema de luzes cadenciadas, operações de carga e descarga de produtos, etc.

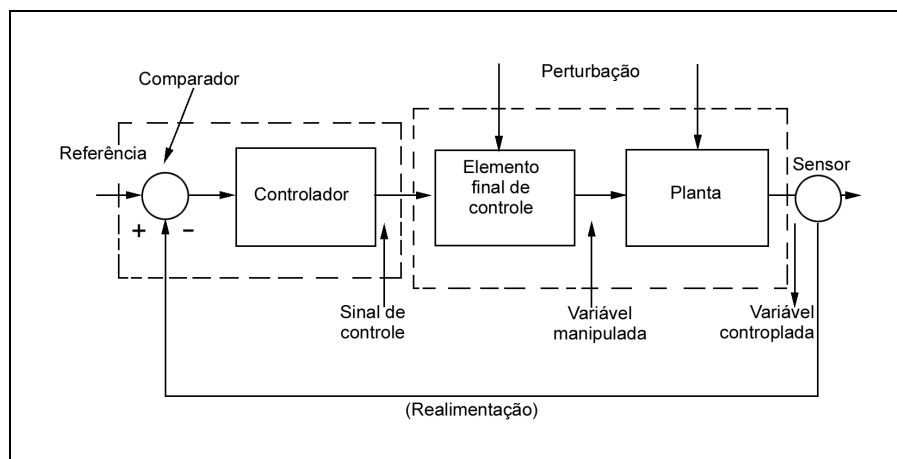
### Sistema de comando seqüenciado

Neste, a entrada de comando varia seqüencialmente em função do encadeamento de operações sucessivas. São exemplos deste sistema máquinas operatrizes, linha de montagem, etc.

Os sistemas de comando seqüenciado são mais confiáveis do que os temporizados, pois uma operação nova só é iniciada após a anterior ter sido executada. Nos sistemas de comando temporizado pode ocorrer que o tempo de uma operação não tenha sido suficiente (devido a perturbações, por exemplo) e o temporizador inicie nova operação com a anterior ainda não finda.

### Sistemas de controle

Consiste num conjunto de elementos interligados em malha fechada, isto é, além do fluxo de informação no sentido direto (da entrada para a saída), existe um outro fluxo no sentido contrário (da saída para a entrada), chamado realimentação (feedback).





| Parte                      | Função   |
|----------------------------|--|
| Controlador                | Sua função é gerar um sinal de controle que irá posicionar o elemento final de controle. Este sinal varia de amplitude em função do sinal de erro enviado pelo comparador. |
| Comparador                 | Sua função é gerar um sinal de erro cuja amplitude é proporcional à diferença algébrica entre o sinal de referência e o sinal de realimentação.                            |
| Sensor                     | Sua função é sentir as variações da variável controlada e enviar um sinal equivalente para o comparador.   |
| Elemento final de controle | (Ver sistema de comando)   |
| Planta                     | (Ver sistema de comando)   |
| Perturbação                | (Ver sistema de comando)   |

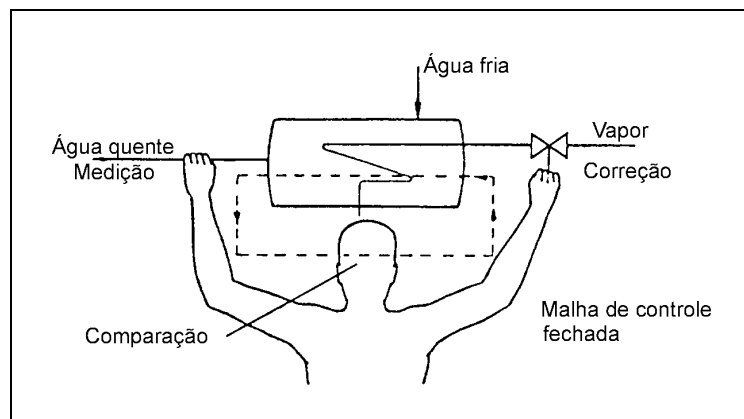
Os sistemas de controle em malha fechada são classificados em:

- Manual;
- Automático.

### Sistemas de controle manual

No sistema de controle manual a malha de controle só é fechada mediante a intervenção do operador, que desempenha as funções de sensor, comparador e controlador.

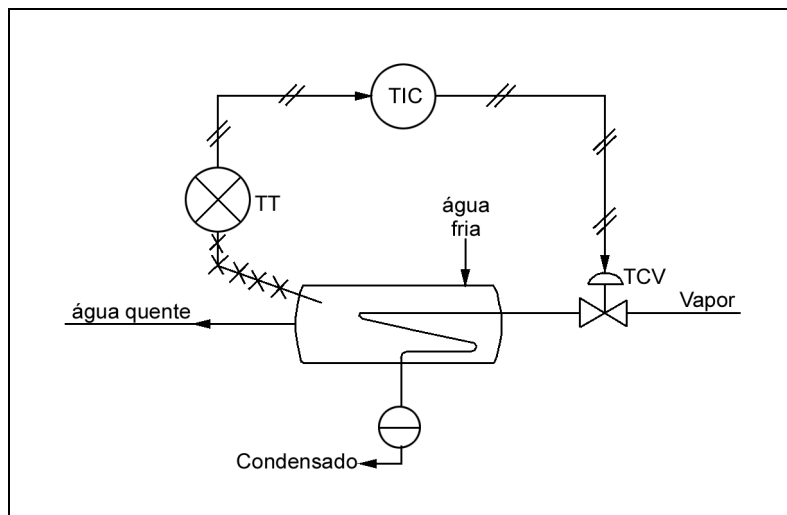
A figura a seguir ilustra um controle manual de um trocador de calor.



### Sistema de controle automático

O sistema de controle automático independe da presença do operador para que haja controle de uma determinada variável, uma vez que a malha de controle se fecha através do elo de realimentação (sinal enviado pelo sensor para o comparador).

A figura a seguir ilustra um controle automático de um trocador de calor.



TIC: Controlador e indicador de temperatura

TCV: Válvula controladora de temperatura

TT: Transmissor de temperatura

Dependendo da forma como o controlador irá atuar, têm-se os seguintes tipos de controle automático:

- Controle automático descontínuo (ON/OFF);
- Controle automático contínuo.

### Sistema de controle automático descontínuo

Os **sistemas de controle automático descontínuos** apresentam um sinal de controle que normalmente assume apenas dois valores distintos. Eventualmente, este sinal poderá ser escalonado em outros valores.

Podemos dispor dos seguintes tipos de sistemas de controle descontínuos:

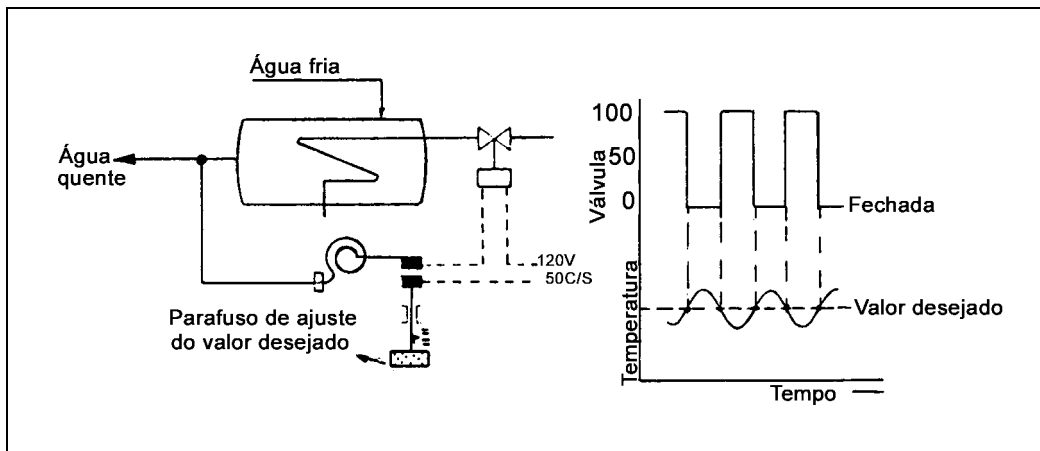
- De duas posições (com ou sem histerese);
- Por largura de pulsos;
- De três posições.

### Sistemas de controle descontínuo de duas posições

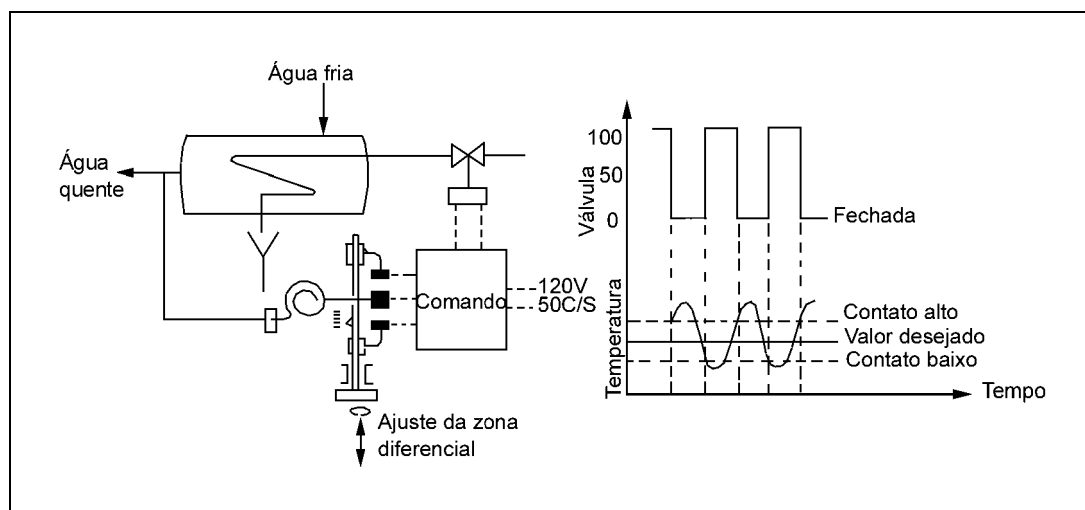
Num sistema de controle descontínuo de duas posições, o controlador apresenta apenas dois níveis de saída: alto e baixo.

Sistema de controle descontínuo de duas posições:

- Sem histerese;



- Com histerese.



Neste tipo de controle, o elemento final de controle apresenta um tempo de comutação muito curto, exigindo uma alta velocidade de atuação.

Os sistemas de controle descontínuos de duas posições podem ser empregados satisfatoriamente em processos que apresentam uma velocidade de reação lenta, uma vez que a quantidade de energia entrando e saindo do processo é ligeiramente superior e inferior respectivamente às necessidades operacionais.

A variável controlada oscila continuamente dentro de uma faixa (zona diferencial) que tem como valor central o valor desejado de controle (*set-point*).

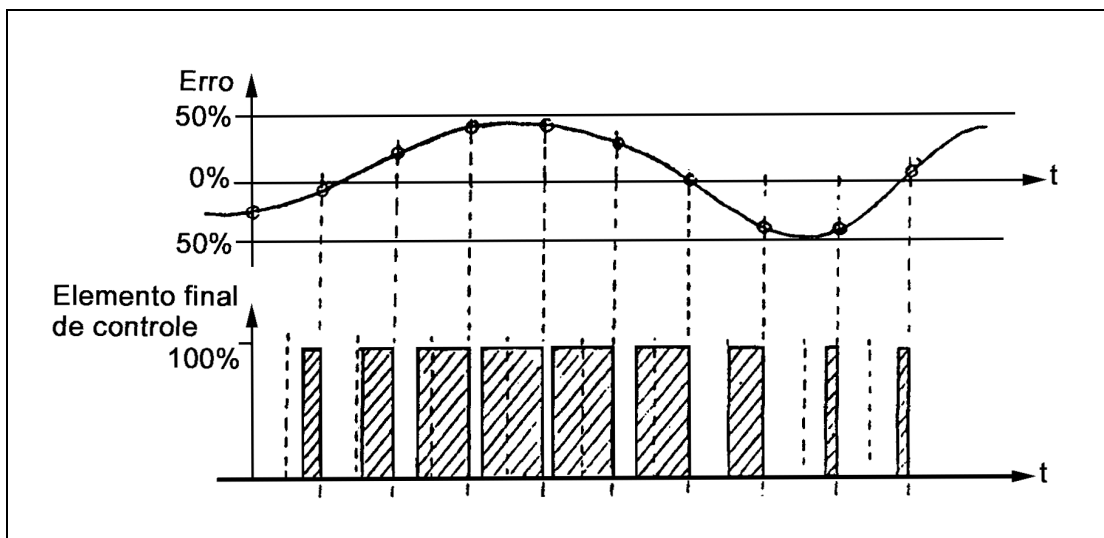
Essas oscilações variam em amplitude e frequência de acordo com as alterações de carga ocorridas no processo.

Podemos citar como exemplo, sistemas de condicionamento de ar, câmaras frigoríficas, etc.

### Sistema de controle descontínuo por largura de pulso

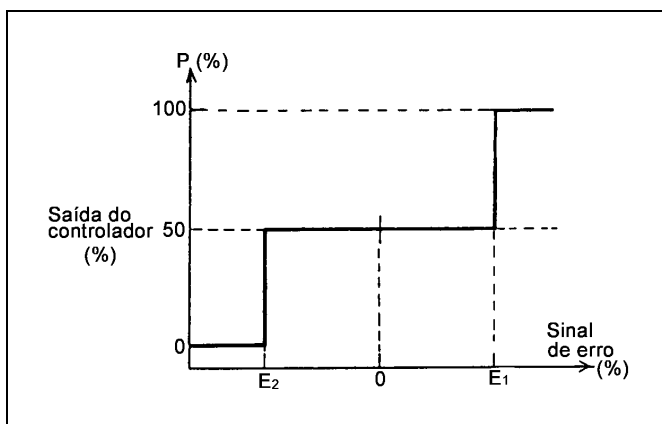
Num sistema de controle descontínuo por largura de pulso, o controlador apresenta dois níveis de saída: alto e baixo.

O tempo de permanência em nível alto ou baixo depende da amplitude do erro. O período do sinal de saída do controlador é constante.



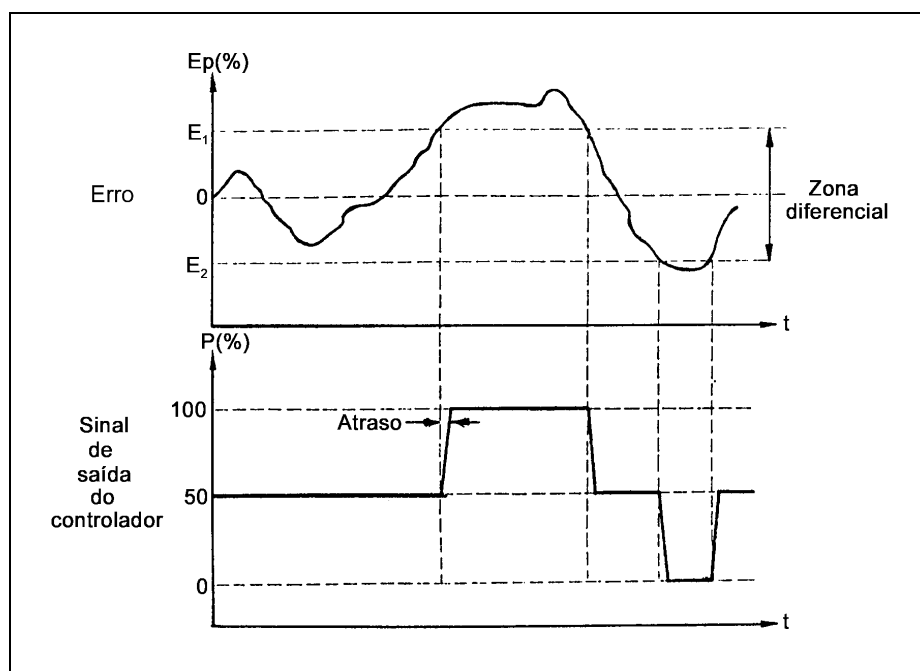
### Sistema de controle descontínuo de três posições

Num sistema de controle descontínuo de três posições, o controlador pode fornecer um sinal de saída em três níveis (0,50 e 100%), definidos em função do comportamento da variável controlada dentro da zona diferencial.



Este modo de controle descontínuo é utilizado quando se deseja reduzir o comportamento cíclico da variável controlada, os picos de erros máximo (*overshoot* e *undershoot*) inerentes ao modo de controle de duas posições.

Os gráficos abaixo demonstram o comportamento dinâmico da variável controlada e do sinal de saída do controlador, para um caso hipotético.



$E_1$ : Erro máximo positivo

$E_2$ : Erro máximo negativo

No exemplo acima foram definidas as seguintes condições:

$P = 100\%$  quando  $E_p > E_1$

$50\%$  quando  $E_2 < E_p < E_1$

$0\%$  quando  $E_p < E_2$

### Sistema de controle automático contínuo

Os sistemas de controle automático em malha fechada apresentam um controlador cuja saída varia continuamente, isto é, podendo assumir qualquer valor compreendido entre os limites alto e baixo.

Dependendo da forma como a informação de erro é processada, podemos dispor de um sistema de controle estático, dinâmico ou combinado, como segue:

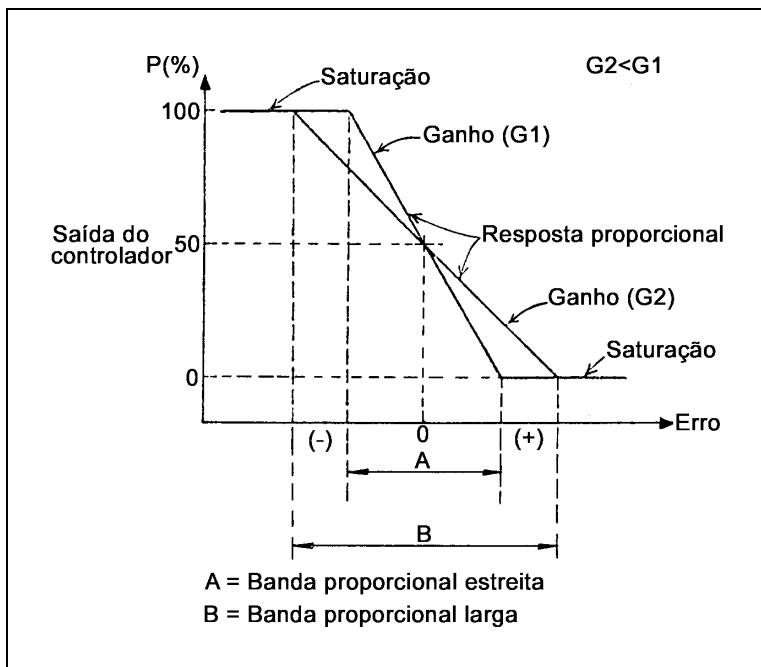
- Controle proporcional: P (estático);
- Controle integral: I (dinâmico);
- Controle derivado: D (dinâmico);
- Controle combinado: P+I ; P+D; P+I+D (estático e dinâmico).

### Controle proporcional

O modo de controle proporcional pode ser considerado como uma evolução do modo de controle de duas posições.

A saída de um controlador proporcional pode assumir qualquer valor desde que compreendido entre os limites alto e baixo (saída máxima e saída mínima), em função do erro verificado.

Apresenta uma relação matemática proporcional entre o sinal de saída do controlador e o erro (diferença entre o valor desejado e a variável controlada). Portanto, para cada valor de erro, temos um único valor de saída em correspondência, desde que este erro esteja dentro de uma faixa predeterminada (banda proporcional).



Fórmula:

$$P = P_0 \pm K_p \cdot E_p$$

Onde:

$P$  = sinal de saída (%)

$K_p$  = constante de proporcionalidade entre o erro e o sinal de saída, isto é, ganho.

$P_0$  = sinal de saída para erro nulo, isto é, polarização do controlador (%).

$E_p$  = diferença entre o valor desejado e a variável controlada, isto é, erro (%).

A faixa de erro (A ou B), responsável pela variação de 0 a 100% do sinal de saída do controlador, é chamada banda proporcional (BP).

Fórmula:

$$BP = \frac{100}{K_p}$$

### Características

1. Caso o valor do erro ultrapasse a faixa da banda proporcional, o sinal de saída saturará em 0 ou 100%, dependendo do sinal do erro.
2. O valor de  $P_0$  é normalmente escolhido em 50% da faixa de saída pois desta forma o controlador terá condição de corrigir erros tanto acima como abaixo do valor desejado.
3. Mudanças de cargas sucessivas provocarão o surgimento de um erro residual (off-set).

### Uso

O controle proporcional é utilizado apenas em processos que permitam um reposicionamento manual do *set point* (valor desejado) pois desta forma consegue-se eliminar o erro residual. Como exemplo, podemos citar os processos onde dificilmente ocorrem grandes mudanças de carga e os processos com um pequeno tempo morto. Em ambos os casos, podemos trabalhar com uma pequena BP (ganho alto), o que resulta num pequeno off-set.

### Controle integral

Os controladores com ação integral (controle com reset) são considerados de ação dinâmica pois a saída dos mesmos é uma função do tempo da variável de entrada.

A saída de um controlador com ação integral é proporcional à integral do erro ao longo do tempo de integração ( $T_i$ ).

Fórmula:

$$P = P_0 \pm K_i \int S^t E_p dt$$

Sendo  $T_i = 1/K_i$



Onde:

$P_0$  = sinal de saída antes de  $t = 0$  (%)

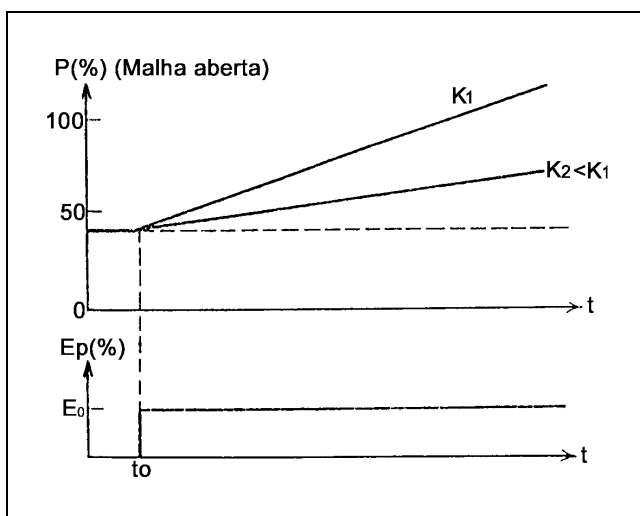
$P(t)$  = sinal de saída em função do tempo para malha aberta (5)

$E_p$  = erro (%)

$K_i$  = constante de integração ( $\text{min}^{-1}$ )

$T_i$  = tempo de integração (min)

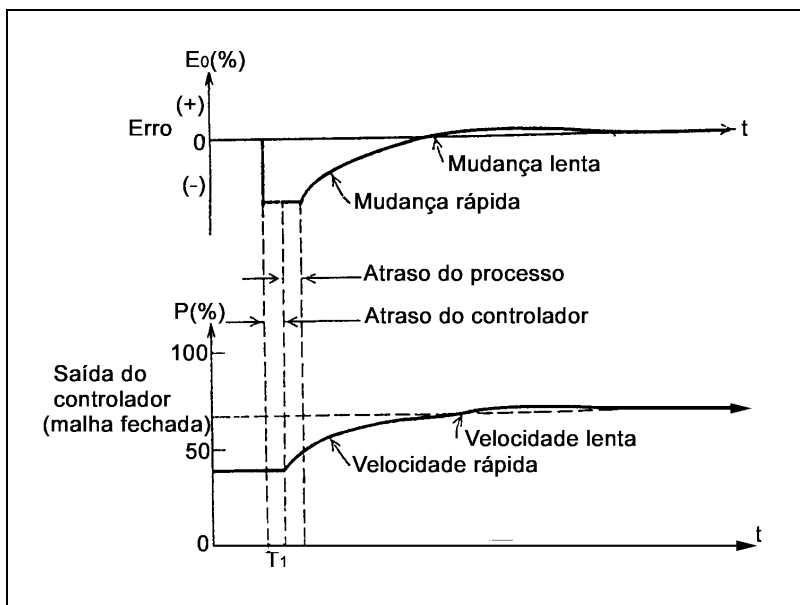
A figura abaixo demonstra como diferentes valores de  $K_i$  produzem diferentes valores de  $P$  em função do tempo, para um valor de erro ( $E_0$ ).



Observa-se que quanto maior a constante de integração, menor será o tempo de integração e maior será a variação do sinal de saída, num determinado intervalo de tempo, considerando-se um erro constante a partir do instante  $t_0$ .

A ação integral normalmente não é utilizada isoladamente. Eventualmente, pode ser utilizada em processos que apresentem pequeno atraso de resposta, juntamente com pequenas capacitâncias.

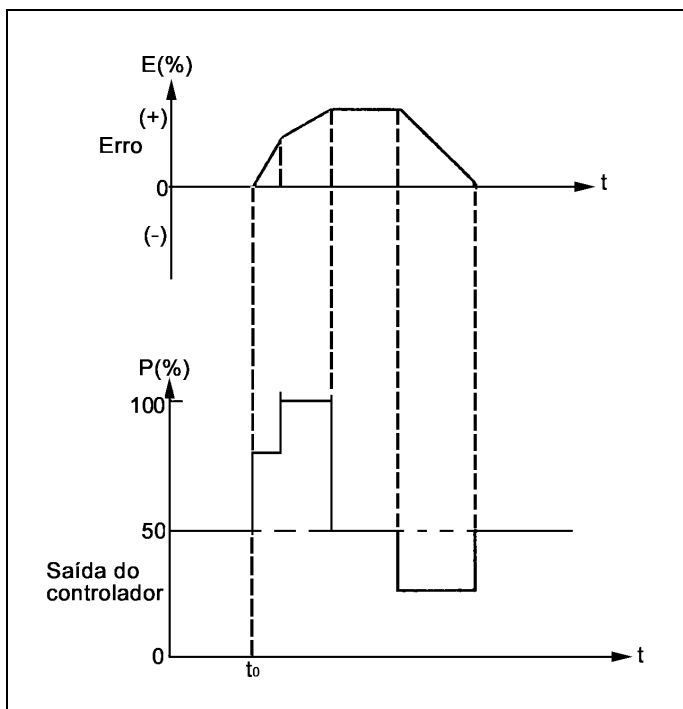
O exemplo a seguir ilustra a atuação de um controlador com ação integral pura, em função de um erro ocorrido no instante  $t_1$ .



Caso o processo apresentasse um tempo de atraso grande, o erro poderia oscilar acima e abaixo do zero.

### Controle derivado

No controle derivativo, (controle antecipatório) a saída do controlador é proporcional à velocidade de variação do erro na entrada.



Fórmula:

$$P = P_0 \pm K_D \frac{dE_p^{(t)}}{dt}$$

Onde:

$P_0$  = sinal de saída antes de  $T_o$  (%)

$P$  = Sinal de saída (%)

$E_p$  = Erro (%)

$K_D$  = Constante de derivação (min)

A constante de derivação ( $K_D$ ) é também chamada tempo derivativo, sendo normalmente expressado em minutos.

Não pode ser utilizado em sistemas de controle separadamente porque quando o erro é zero ou constante, o controlador apresenta um sinal de saída zero ou uma saída polarizada ( $P_0$ ).

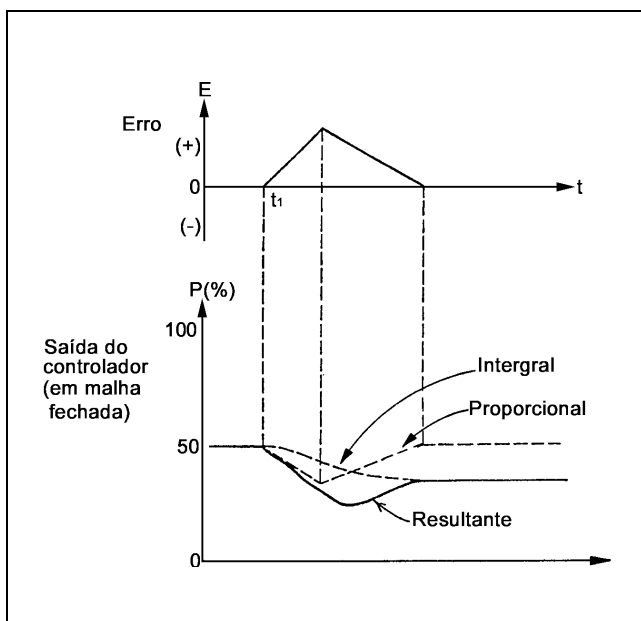
### Controle proporcional + integral

Este modo de controle é resultado da combinação entre os modos proporcional e integral.

### Fórmula

Consiste na combinação das equações que definem a ação integral e proporcional.

$$P = P_0 \pm (K_p \cdot E_p + K_i \int E_p dt)$$



A curva resultante consiste na somatória da curva proporcional com a curva integral, fazendo com que o erro retorne a zero. Nota-se que a componente proporcional é exatamente a imagem do erro.

A principal vantagem deste modo de controle composto é a relação de correspondência ponto a ponto entre o erro e o sinal de saída, definida pela ação proporcional, juntamente com a ausência de off-set, devido à ação integral.

Este modo de controle pode ser utilizado em processos que tenham grandes variações de carga pois não haverá off-set. No entanto, é recomendável que essas variações de carga sejam lentas, pois caso contrário dependendo do tempo de integração utilizado, poderão ocorrer oscilações na variável controlada.

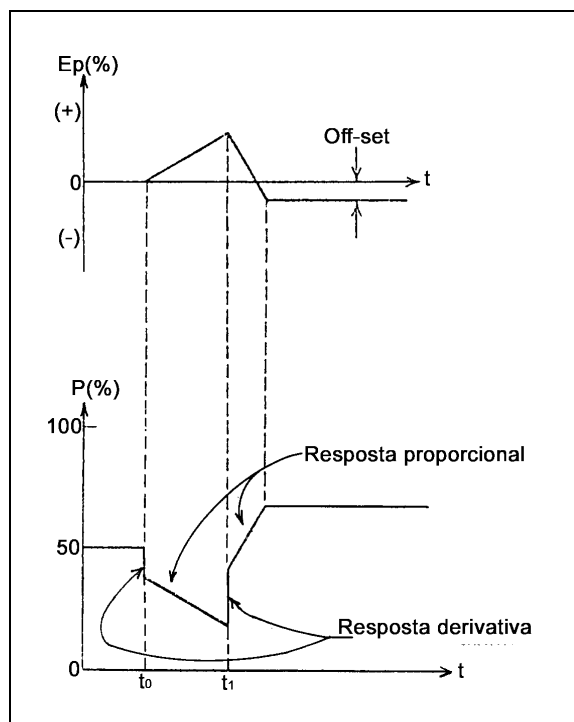
**Controle proporcional + derivativo**

Consiste na utilização em série (cascata) do modo de controle derivativo e proporcional.

**Fórmula**

A expressão matemática representativa deste modo de controle é obtida através da combinação das equações correspondentes.

$$P = P_0 \pm (K_p E_p + K_p K_D \frac{dE_p(t)}{dt})$$



Nota-se que a resposta derivativa faz com que a saída do controlador varie instantaneamente ( $t_0$  e  $t_1$ ) e proporcionalmente à razão de variação do erro.

Através dos gráficos anteriores observa-se que este modo conjugado de controle não elimina o erro de off-set causado pela ação proporcional.

Recomendado para processos que tenham rápidas mudanças de carga e que possam conviver com o erro de off-set.

### Controle proporcional + integral + derivativo

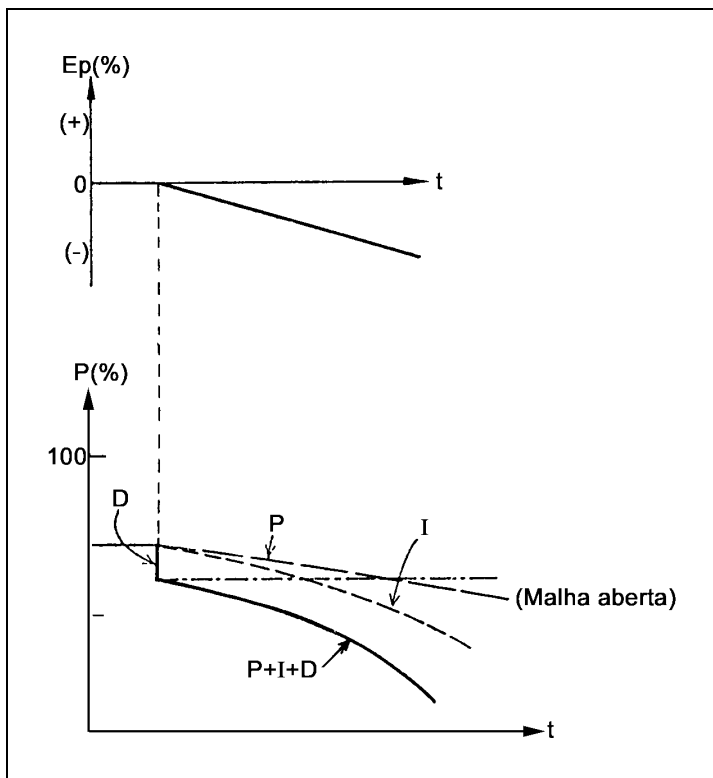
É um dos modos de controle mais poderosos e complexos, utilizado no controle de processos.

Consiste na combinação das características das três ações de controle conhecidas: proporcional, integral e derivativa.

### Fórmula

Combinação das equações correspondentes às ações P, I e D.

$$P = P_0 \pm (K_p \cdot E_p + K_p \cdot K_i \int E_p dt + K_p \cdot K_D \cdot \frac{dE_p(t)}{dt})$$



Este modo elimina o off-set devido à ação proporcional e diminui a tendência à oscilação.

A combinação das ações P, I e D resulta num modo de controle que pode ser aplicado em qualquer tipo de processo ou sistema.

# Redes industriais

A comunicação de dados em aplicações industriais tem se expandido de maneira considerável nos últimos anos.

Originalmente, essa comunicação ocorria entre os escritórios que enviavam, diária ou semanalmente, relatórios aos seus escritórios centrais distantes. Hoje, a comunicação entre Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e outros sistemas de controle eletrônico é comum.

Além das funções de controle de máquinas, os CLPs podem fornecer serviços secundários como enviar e receber informações sobre manutenção e produção. É muito normal, hoje em dia, conectar cada máquina a uma rede local LAN (do inglês *Local Area Network*) com um terminal localizado na gerência da manutenção e outro na gerência de produção.

O terminal da produção envia pedidos para que um número específicos de peças seja produzido e recebe relatórios de cada CLP sobre peças boas e ruins que cada máquina produziu. O terminal da manutenção recebe não só informações sobre falhas nas máquinas e tempo de parada ("*downtime*"), mas também informações sobre manutenção periódica.

Cada CLP é conectado a uma rede local que, por sua vez, é conectada a outra rede de dados que envia informação ao planejamento da produção através de uma conexão ETHERNET.

A maneira mais fácil de compreender a comunicação de dados e como ela é aplicada industrialmente é seguir o modelo ISO (*International Organization for Standards*) que é conhecido como modelo de referência de Interconexão de Sistemas Abertos (*Open Systems Interconnect*) ou OSI.

Em aplicações industriais os dados podem ir desde o mais simples como a indicação se uma máquina está parada ou em funcionamento, até a inclusão do número de peças produzidas e o número de peças boas ou ruins. Também pode incluir o tempo de funcionamento (*uptime*) e tempo de parada (*downtime*), ou a taxa do tempo de produção pelo tempo de manutenção.

Esses dados podem, também, se constituir de um novo programa de CLP a ser carregado em uma máquina a partir de uma unidade remota. Essa comunicação de dados também pode cruzar barreiras entre dados de automação da fábrica e comunicação de dados para pessoal, como em sistemas de e-mail e LANS entre departamentos.

Assim, se as pessoas de diferentes departamentos precisarem trabalhar juntas para instalar um novo equipamento na produção e necessitam partilhar tempos e datas, relatórios de projetos e informações de orçamento sobre como o projeto está no período, cada uma dessas funções pode usar várias partes do sistema de comunicação de dados da fábrica.

O conjunto de convenções que governam o formato e o tempo de dados entre dispositivos de comunicação é chamado de protocolo.

## **Arquitetura de rede**

Inicialmente, os fabricantes de computadores e CLPs desenvolveram métodos que trabalhavam somente com controladores de suas próprias marcas. Mais tarde, quando as fábricas adicionaram várias marcas diferentes de controladores diferentes para seus robôs, máquinas CNC e outros CLPs.

Tornou-se necessário desenvolver uma arquitetura comum de modo a permitir conectar várias marcas diferentes de equipamentos dentro de uma rede simples no chão de fábrica.



Todos os equipamentos de comunicação de dados eletrônicos usam atualmente um ou mais níveis do Modelo OSI de sete níveis de modo que cada aplicação pode usar apenas um, alguns ou todos os níveis do modelo.

|   |               |                     |
|---|---------------|---------------------|
| 1 | Físico        | <i>Physical</i>     |
| 2 | Link de dados | <i>Data link</i>    |
| 3 | Rede          | <i>Network</i>      |
| 4 | Transporte    | <i>Transport</i>    |
| 5 | Sessão        | <i>Session</i>      |
| 6 | Apresentação  | <i>Presentation</i> |
| 7 | Aplicação     | <i>Application</i>  |

Os níveis mais baixos são os mais simples e usados em quase todas as aplicações. Os quatro níveis superiores são mais complexos e são usados somente em sistemas mais sofisticados. Nestes sistemas, os aspectos relacionados à transmissão de dados (troca de sinais), são considerados os meios de organizar e sincronizar o diálogo.

Garantem a troca ordenada de dados, a solução de problemas de diferenças de representação de informações, em sistemas heterogêneos interconectados em ambiente OSI e oferecem aos processos de aplicação meios de acessar o ambiente de comunicação OSI.

Podemos encontrar estes sistemas na automação de fábrica (FA) e na manufatura integrada por computador (CIM) em que são conectados às redes de fábrica e escritórios.

Muito do que acontece nesses níveis é invisível para nós. Por exemplo, quando se tem um terminal para trabalhar com uma rede ETHERNET, não é necessário saber tecnicamente como ela trabalha. O que é necessário saber é apenas o tipo de interface ou software usar para que os sistemas se tornem compatíveis.

### **Formato dos dados**

O formato dos dados é importante quando a informação é enviada de um sistema para outro. Os dois principais formatos são:

- *ASCII (American Standard Code for Information Interchange*, ou seja, Código Padrão Americano para Troca de Informações), desenvolvido pela ANSI (*American National Standard Institute*, ou seja Instituto Nacional Americano de Normas) e o

- EBCDIC (*Extended Binary Coded Decimal Interchange Code*, isto é, Código Decimal Binário Estendido de Troca de Informações) proposto pela IBM.

Tabela ou Quadro: ASCII

| Bit |   |   |   | Coluna |     |     |    |   |   |   |   |     | 1º dígito hexadecimal |
|-----|---|---|---|--------|-----|-----|----|---|---|---|---|-----|-----------------------|
| 4   | 3 | 2 | 1 | linha  | 0   | 1   | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7   |                       |
| 0   | 0 | 0 | 0 | 0      | NUL | DLE | SP | 0 | @ | P | . | p   |                       |
| 0   | 0 | 0 | 1 | 1      | SOH | DC1 | !  | 1 | A | Q | a | q   |                       |
| 0   | 0 | 1 | 0 | 2      | STX | DC2 | "  | 2 | B | R | b | e   |                       |
| 0   | 0 | 1 | 1 | 3      | ETX | DC3 | #  | 3 | C | S | c | r   |                       |
| 0   | 1 | 0 | 0 | 4      | EQT | DC4 | S  | 4 | D | T | d | t   |                       |
| 0   | 1 | 0 | 1 | 5      | ENQ | NAK | %  | 5 | E | U | e | u   |                       |
| 0   | 1 | 1 | 0 | 6      | ACK | SYN | &  | 6 | F | V | f | v   |                       |
| 0   | 1 | 1 | 1 | 7      | BEL | ETB | .  | 7 | G | W | g | w   |                       |
| 1   | 0 | 0 | 0 | 8      | BS  | CAN | (  | 8 | H | X | h | x   |                       |
| 1   | 0 | 0 | 1 | 9      | HT  | EM  | )  | 9 | I | Y | i | y   |                       |
| 1   | 0 | 1 | 0 | A      | LF  | SUB | •  | : | J | Z | j | z   |                       |
| 1   | 0 | 1 | 1 | B      | VT  | ESC | +  | ; | K | [ | k | [   |                       |
| 1   | 1 | 0 | 0 | C      | FF  | FS  | ,  | < | L | \ | l |     |                       |
| 1   | 1 | 0 | 1 | D      | CR  | GS  | -  | = | M | ] | m | ]   |                       |
| 1   | 1 | 1 | 0 | E      | SO  | RS  | .  | > | N | ^ | n | -   |                       |
| 1   | 1 | 1 | 1 | F      | SI  | US  | /  | ? | O | - | o | DEL |                       |

Fonte: *Industrial Electronic de Thomas E.Kissell. Prentice Hall, 1997*

Tabela ou Quadro: EBCDIC

|     |   |   |   |        |     |     |     |     |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|--------|-----|-----|-----|-----|----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|     |   |   |   | Bit 1  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0 | 0  | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|     |   |   |   | Bit 2  | 0   | 0   | 0   | 0   | 1  | 1 | 1  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|     |   |   |   | Bit 3  | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 0 | 1  | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
|     |   |   |   | Bit 4  | 0   | 1   | 0   | 1   | 0  | 1 | 0  | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Bit |   |   |   | Coluna |     |     |     |     |    |   |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 5   | 6 | 7 | 8 | linha  | 0   | 1   | 2   | 3   | 4  | 5 | 6  | 7 | 8 | 9 | A | B | C | D | E | F |
| 0   | 0 | 0 | 0 | 0      | NEL | DLE |     |     | SP | & | .  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 0   | 0 | 0 | 1 | 1      | SOH | SBA |     |     |    |   | /  |   | a | j |   |   | A | J |   |   |
| 0   | 0 | 1 | 0 | 2      | STX | EUA |     | SYN |    |   |    |   | b | k | s |   | B | K | S |   |
| 0   | 0 | 1 | 1 | 3      | ETX | IC  |     |     |    |   |    |   | c | l | t |   | C | L | T |   |
| 0   | 1 | 0 | 0 | 4      |     |     |     |     |    |   |    |   | d | m | u |   | D | M | U |   |
| 0   | 1 | 0 | 1 | 5      | PT  | NL  |     |     |    |   |    |   | e | n | v |   | E | N | V |   |
| 0   | 1 | 1 | 0 | 6      |     |     | ETB |     |    |   |    |   | f | o | w |   | F | O | W |   |
| 0   | 1 | 1 | 1 | 7      |     |     | ESC |     |    |   |    |   | g | p | x |   | G | P | X |   |
| 1   | 0 | 0 | 0 | 8      |     |     |     |     |    |   |    |   | h | q | y |   | H | Q | Y |   |
| 1   | 0 | 0 | 1 | 9      |     | EM  |     |     |    |   |    |   | i | r | z |   | I | R | Z |   |
| 1   | 0 | 1 | 0 | A      |     |     |     |     | ∅  | ! | .: | : |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 1   | 0 | 1 | 1 | B      |     |     |     |     | .  | S | .  | # |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 1   | 1 | 0 | 0 | C      |     | DUP |     | RA  | <  | • | %  | @ |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 1   | 1 | 0 | 1 | D      |     | SF  | ENQ | NAK | (  | ) | -  | . |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 1   | 1 | 1 | 0 | E      |     | FM  |     |     | +  | ; | >  | = |   |   |   |   |   |   |   |   |
| 1   | 1 | 1 | 1 | F      |     | ITB |     | SUB | \  |   |    | . |   |   |   |   |   |   |   |   |

2º dígito  
hexadecimal

Fonte: Industrial Electronic de Thomas E.Kissell. Prentice Hall,1997

No modelo OSI de 7 níveis são usados vários protocolos e padrões desenvolvidos por várias empresas e grupos. Alguns, como o EBCDIC, tornaram-se verdadeiros padrões aceitos pela maioria dos usuários. Outros, não foram aceitos e grandes comitês, formados por fabricantes, desenvolvedores de softwares e usuários foram criados para estabelecer novos padrões.

Até hoje os padrões da ISO e da CCITT (*Consultative Committee on International Telegraphy and Telephone*) são discutidos.

### ETHERNET e IEEE 802

No início dos anos 90, um grupo de fabricantes se uniu para desenvolver um conjunto de normas para as LANs. Esse grupo, composto por representantes da DEC (*Digital Equipment Corporation*) da INTEL e da XEROX, elaborou normas para um LAN chamada de ETHERNET que se refere aos níveis Datalink e físico do modelo OSI.

No mesmo período, a IEEE estabeleceu um comitê chamado de IEEE 802 para elaborar, também, normas para as LANs. Dessa forma, os dois padrões foram incorporados a uma série de produtos, seja em parte, seja em sua totalidade.

### **Protocolo MAP**

O protocolo MAP (*Manufacturing Automation Protocol*, ou seja, Protocolo de Automação da Manufatura) foi desenvolvido pela General Motors a fim de compatibilizar todos os protocolos dos diferentes equipamentos de sua linha. Ele permite que equipamentos de diferentes tipos e marcas se comuniquem uns com os outros por meio de uma LAN.

Como esta padronização pode ser usada em todas as áreas de automação da fábrica, outras empresas como a Ford e a Chrysler também adotaram esse protocolo. Com o rápido avanço da tecnologia, alguns problemas surgiram mas, apesar disso, o protocolo MAP forneceu a base para padrões para LANs usadas em automação atualmente.

### **Protocolo TOP (*Technical Office Protocol*)**

Esse protocolo foi desenvolvido, também no final dos anos 80) pela *Boeing Aircraft Company* a fim de conectar um vasto número de computadores usados no projeto e manufatura de aeronaves.

Uma vez que essa atividade é mais orientada a projetos, os padrões e protocolos resultantes são focados em computadores usados em escritórios em função CADD (*Computer Aided Design and Drafting*), CAM (*Computer Aided Manufacturing*) e outras funções relacionadas a tarefas de escritório como envio, recebimento e contabilidade.

Os padrões e protocolos do TOP se tornaram padrões para LANs de escritório.

Uma vez que muitas indústrias têm combinado manufatura tradicional com células automatizadas a fim de criar uma manufatura integrada por computador (CIM, ou seja, *Computer Integrated Manufacturing*), pode-se trabalhar em equipamentos que estejam em conformidade com o TOP e que também estejam conectados em uma rede com equipamentos em conformidade com o MAP ou outros protocolos.

### **Protocolo de controle de transmissão o protocolo Internet**

Uma outra norma e protocolo comuns encontrados em equipamentos usados em chão de fábrica são o TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*). Este protocolo é escrito para os níveis 3 e 4 (rede e transporte) do modelo OSI.

O protocolo de transmissão (TCP) é especificamente escrito para o nível de transporte do modelo e o protocolo Internet é escrito especificamente para o nível de rede do modelo. Atualmente o protocolo Internet reside na porção mais alta do nível de rede e estabelece padrões para o cabeçalho que são passadas entre os nós na mesma rede, ou entre os nós em redes diferentes.

Juntos, o TCP/IP permitem que equipamentos de diferentes fabricantes enviem e recebam dados através de diferentes redes. Esse conjunto de protocolos foi originalmente elaborado pelo Departamento de Defesa (DOD) dos Estados Unidos quando, no inícios dos anos 80, se percebeu a necessidade de fornecer meios para que computadores de faculdades e universidades, que estavam desenvolvendo pesquisas para esse e outros órgãos governamentais, se conectasse a uma ampla faixa de equipamentos espalhados pelos departamentos do governo americano.

O DOD fundou uma rede chamada de rede de projetos de pesquisa avançada (*Advanced Research Projects Network/ARPANET*) que usa TCP/IP para tornar isso possível a todos os tipos de computadores e redes ao acessar informações em outras redes operadas por agências governamentais, empresas que prestam serviço ao governo etc.

### **MMS (*Manufacturing Message Specification*)**

A MMS é um sistema que também contém sete níveis e que é baseado no modelo OSI. O sistema foi elaborado para permitir a comunicação entre dispositivos não similares na mesma rede, solicitados para compartilhar dados.

Assim, um sistema de medidas e inspeção pode enviar dados para qualquer marca de equipamento de usinagem e manufatura. Ou, então, o controlador pode enviar dados para robôs para manipulação de material e para os computadores de controle de qualidade no qual são arquivados os dados que devem estar disponíveis ao departamento de vendas.

Como esses equipamentos podem ser de diferentes máquinas e gerações, normalmente não estão habilitados para trocar dados entre si. É o sistema MMS que torna isso possível.

### **Padrões europeus: Fieldbus**

Ao mesmo tempo em que normas e protocolos de rede estavam sendo estabelecidos nos Estados Unidos, o mesmo acontecia na Europa e na Ásia. A norma européia usa um sistema chamado de Fieldbus que é semelhante ao OSI de sete níveis.

O Fieldbus usa cinco níveis para alcançar as mesmas normas. O sistema Fieldbus faz isso combinando o nível físico e o nível de linha de dados (data link) dentro de um conjunto de normas chamado de DIN V 19245 T1.

Combina, também, o nível de sessão, o de apresentação e a parte mais baixa do nível de aplicação dentro de um nível chamado de AP (*Automation Protocol*, ou seja, Protocolo de Automação).

### **Padrão Profibus**

O Profibus é uma rede e padrão de comunicação de dados desenvolvido pela Siemens da Europa que inclui protocolos estabelecidos nos padrões Fieldbus.

Esse padrão foi desenvolvido depois que a Siemens adquiriu a tecnologia de controladores programáveis da Texas Instruments. Isso forneceu o nível de conhecimentos necessários para desenvolver equipamentos e softwares necessários para conectar seus equipamentos com sistemas existentes nos Estados Unidos.

### **Meios de transmissão de um nível físico**

Originalmente, quando as redes de comunicação de dados foram estabelecidas, como parte do processo de automação da fábrica, o fio condutor era o único meio para conectar equipamentos.

O cabo coaxial possui um único e sólido fio que carrega a informação. O fio é suportado por uma malha de metal e protegido contra qualquer interferência externa por meio de uma cobertura de metal. Essa proteção de metal deve estar aterrada a somente um terminal para impedir que contracorrentes de terra circulem pela proteção.

O cabo de par torcido pode ter uma cobertura de material plástico de cor azul. Ele é composto por dois condutores torcidos, um em volta do outro, a fim de cancelar

qualquer sinal de interferência. O par torcido também tem a cobertura de uma folha de alumínio que funciona como proteção. Essa proteção é aterrada a um terminal.

Atualmente, esse meio físico (também chamado de *backbone*) pode ser composto de uma fibra ótica. Uma ampla faixa de dispositivos de conexão existe para fornecer interface entre o sistema RS232 e o RS422, entre condutores óticos e entre fibras óticas.

Esses conectores permitem que se instale fibra ótica no chão de fábrica depois de uma rede de fios e cabos estar operando por muitos anos. Isso é especialmente útil se não for possível eliminar interferências existentes no ambiente, uma vez que o sinal que viaja pela fibra ótica é imune a tensões induzidas, pois viaja como luz.

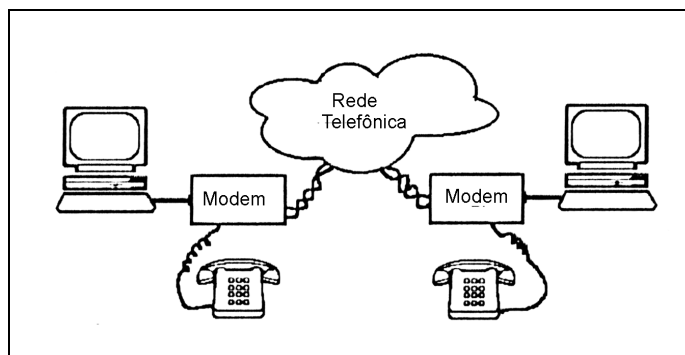
## **Interface**

Com a utilização da transmissão serial, surgiu também a necessidade de se estabelecerem conexões de longas distâncias entre computadores para o intercâmbio de dados. Tais conexões, entretanto, exigiram a instalação de várias linhas de comunicação exclusivas para esse fim, de abrangência tal que, de qualquer ponto de uma cidade, poder-se-iam utilizar tais serviços.

Por outro lado, o serviço telefônico já possuía uma rede com tal abrangência e com as vantagens de ligações diretas nacionais ou internacionais sem auxílio de telefonista. Estudou-se então uma maneira pela qual a informação de um computador pudesse ser enviada através da linha telefônica, uma vez que o sinal elétrico da transmissão serial não possui as características necessárias para atravessar a rede telefônica, que é projetada para suportar apenas sinais elétricos analógicos provenientes dos captadores e bocais do telefone (Banda indo de 300Hz até 3.300Hz).

Como resultado desse estudo surgiu um novo aparelho, chamado Modem, que permite a transmissão da informação serial do computador através de um sinal compatível com as características elétricas da rede telefônica.

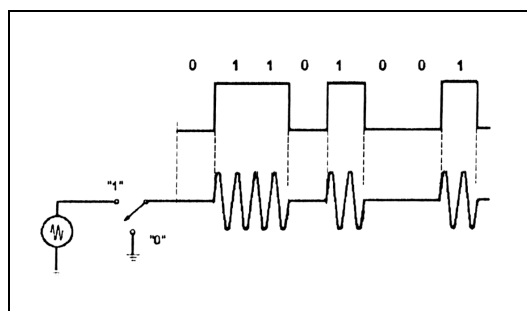
O Modem se utiliza de certas técnicas de tratamento de sinal para permitir a ligação remota de dois computadores através da rede telefônica, técnicas que veremos a seguir.



### Modulação

A técnica de Modulação consiste em executar uma modificação nas características de um sinal senoidal de acordo com a informação a ser transmitida. O sinal senoidal é chamado de Sinal Portador, ou "Onda Portadora", e o sinal da informação, de sinal Modulador; no caso da transmissão digital, o sinal modulador é simplesmente a informação binária.

Um tipo de modulação bem simples é a chamada Modulação em Amplitude, vista na figura abaixo.



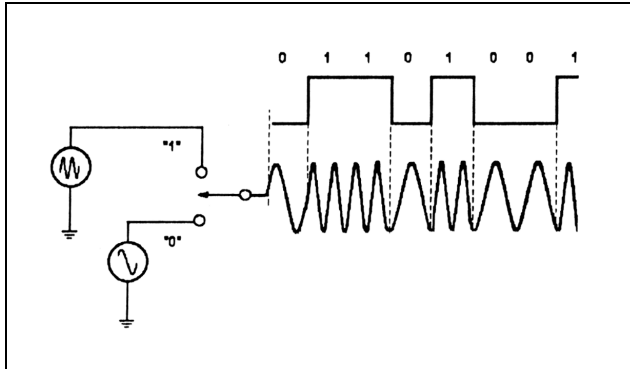
Ela consiste em alterar a amplitude de uma Portadora de modo que, a um valor lógico, corresponda uma única amplitude de sinal.

No exemplo, o lógico "1" corresponde a uma amplitude normal e ao lógico "0" corresponde uma amplitude zero.



Um outro tipo de modulação é chamado Modulação em Freqüência. A figura abaixo, mostra o método conhecido por FSK - *Frequency Shift keying*, ou Deslocamento de Freqüência por Chaveamento.

Neste método utilizamos duas freqüências (ou tons) para representação do sinal binário. No exemplo, escolheu-se uma freqüência baixa para representar o nível lógico "0" e uma freqüência alta para representar o nível lógico "1".



Além destas, existe também uma terceira técnica chamada Modulação em Fase, além de outras técnicas mistas que associam dois tipos de modulação e que não serão objeto de nosso estudo por necessitarem de um embasamento técnico específico que não cabe aqui comentar.

Uma vez que obtemos um sinal Modulado, é possível transmiti-lo agora por um meio onde a informação digital antes não poderia. Assim sendo, é necessário que no Receptor exista um modo de recuperar a informação a partir da onda Modulada recebida, e esse processo é chamado de Demodulação.

Para cada técnica de Modulação, existe uma correspondente de Demodulação; isto deixa claro que um sinal Modulado em Freqüência não pode ser Demodulado utilizando-se a técnica para Amplitudes. Numa transmissão de dados, tanto Transmissor quanto Receptor devem estar de acordo quanto ao método de Modulação/ Demodulação escolhido.

### Codificação

A técnica da Codificação Digital procura manter as características digitais do sinal, modificando-o o suficiente para viabilizar a sua transmissão por Meios de Banda mais estreita.

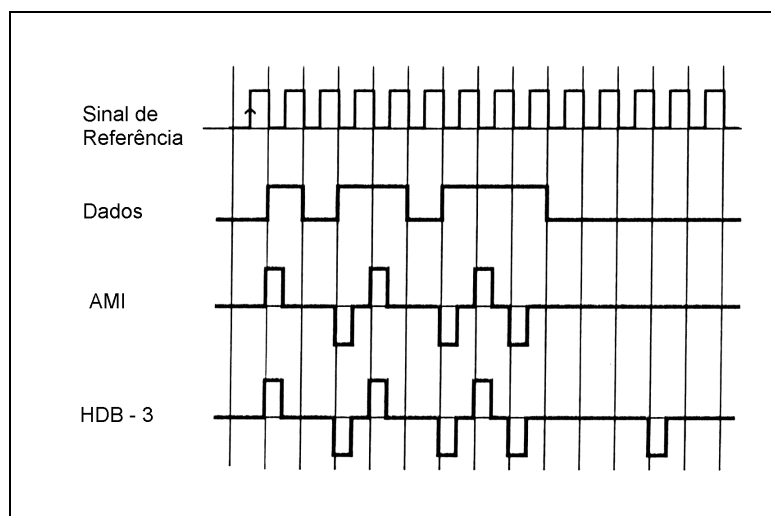
As técnicas principais são as chamadas bipolares e bifases, ambas necessitam de um sinal extra como sincronismo, que normalmente fica fazendo parte do sinal enviado.

Dentre as técnicas bipolares, existe o AMI - *Alternate Mark Inversion*, ou simplesmente Bipolar, pois este código utiliza três níveis de sinal: pulso positivo, pulso negativo e repouso.

O processo de codificação consiste em emitir um pulso de polaridade invertida ao pulso anterior sempre que o valor lógico "1" aparecer, e o valor lógico "0" não produz alteração na linha - a figura a seguir mostra um exemplo da codificação AMI.

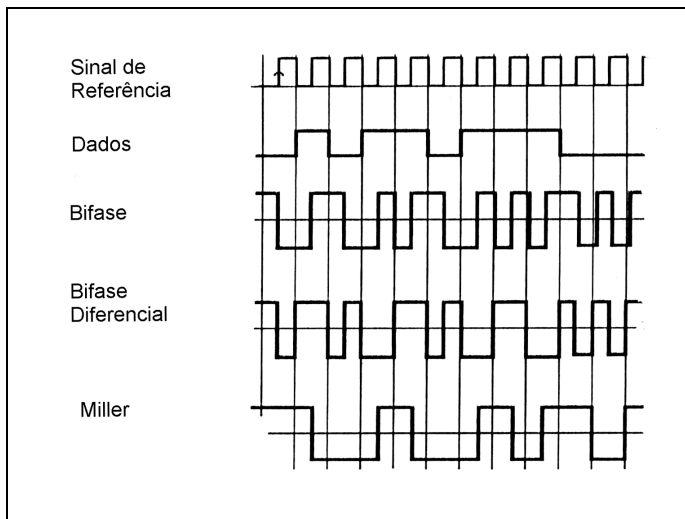
Para o AMI, uma longa transmissão de "0" cria um espaço de tempo muito grande sem sinal algum. Esse fato pode dificultar o sincronismo; para contornar esse problema foi criado o código HDB - *High Density Bipolar*.

O HDB codifica exatamente como o AMI, exceto que, quando da ocorrência do quarto bit "0" consecutivo, um pulso de polaridade idêntica ao anterior é emitido.



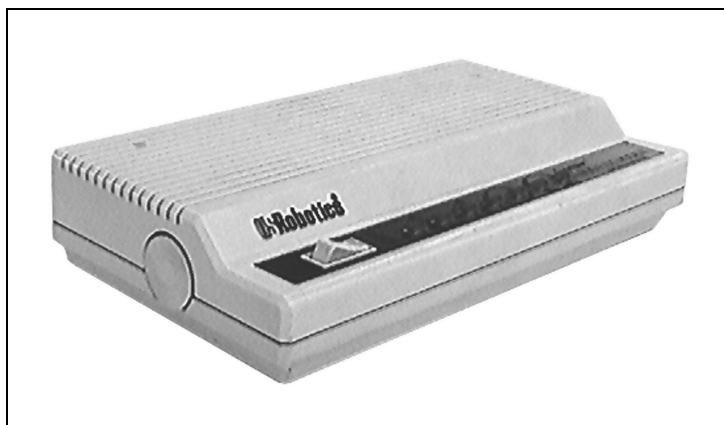
Os códigos bifases utilizam apenas dois níveis de sinal e alteram o momento subida ou descida (fase 0° e fase 180° respectivamente) do pulso. Os códigos bifases são mais imunes a ruído que os bipolares, mas ocupam uma banda de frequência maior que estes últimos. A próxima figura apresenta três tipos de codificação bifásica. Um código bifase é o chamado Código Manchester, ou apenas Bifase, que consiste em utilizar a subida do pulso para cada lógico "1" e a descida para cada lógico "0". Derivado deste é o Código Bifase Diferencial, cuja fase é deslocada de 180° com relação à anterior, daí o nome diferencial, para o lógico "1" e mantida para o lógico "0".

Um outro código bifase derivado do Manchester é chamado Código Miller, que apresenta características superiores às dos bifases e bipolares; consiste em realizar uma transição durante o bit "1" e uma transição entre dois "0" consecutivos.



### O modem

Chamamos de Modem (Modulador /Demodulador) ao equipamento capaz de transmitir a informação serial proveniente do computador pela rede telefônica



Podemos dizer que a sua função principal é realizar uma modulação ou codificação, utilizando como sinal modulador a informação serial do computador. Devido portanto às várias técnicas de Modulação/Codificação existem também vários tipos de Modems; como um estudo detalhado foge ao propósito de nosso curso, vamos estudar apenas sua classificação e uso.

O Modem que trabalha com Modulação de Portadora é chamado de Analógico ou Banda Larga (*Broadband*) pois pode ser construído tanto para ocupar a Banda do canal de telefonia (Modens para canal de voz) quanto ocupar uma Banda bem mais larga (Modens faixa larga), conforme a frequência da portadora e método empregado de modulação.

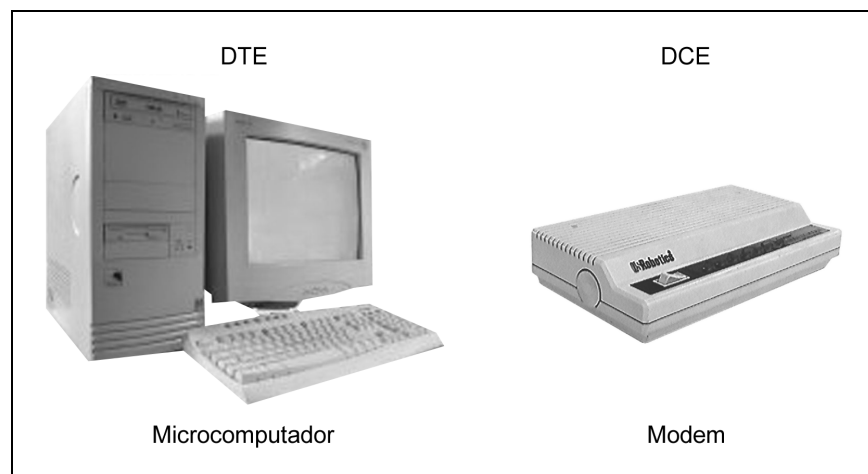
O Modem que utiliza Codificação Digital é chamado de Digital ou Banda Base (*Baseband*), visto que preserva a Banda original ou base do sinal digital binário, não modulando nenhuma portadora.

Tanto os Modens Analógicos quanto Digitais podem ser classificados em Assíncronos, quando não necessitam de um sinal de sincronismo para a Demodulação / Decodificação; e Síncronos, quando se deve recuperar um sinal de sincronismo para a Demodulação/Decodificação.

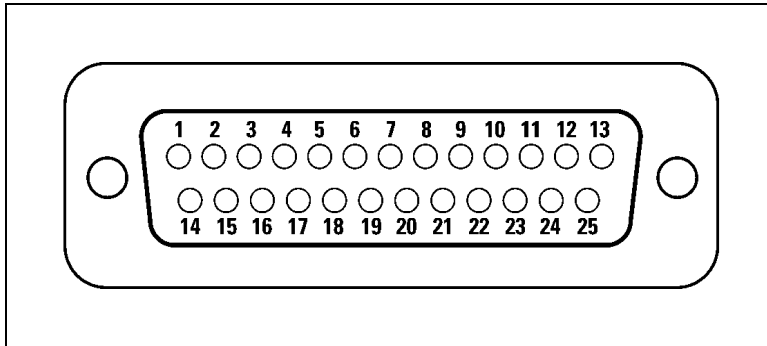
### O padrão RS 232

A necessidade de interligar Modens e Computadores deu origem a uma norma específica que foi gerada pela *Electronics Industry Association* (EIA) dos Estados Unidos da América e que ficou mais conhecida pela sua terceira revisão (revisão C).

A norma EIA RS - 232C surgiu em 1969 e propôs padrões para o interfaceamento entre equipamentos de comunicação, ou Modens, chamados de DCE - *Data Communication Equipamment* , ou computadores, chamados de DTE - *Data Terminal Equipament*, trazendo uma descrição mecânica dos circuitos de interface, definindo as características elétricas dos sinais envolvidos além de uma descrição funcional dos sinais de interface.



Em 1987, o padrão foi revisto gerando a norma RS - 232D, em que se acrescentaram três sinais adicionais para testes e o formato do conector; dada a pouca alteração, iremos nos referir apenas à norma RS - 232C.



Apesar da RS - 232C não especificar o formato do conector, o tipo conhecido como DB - 25, visto a cima, é utilizado amplamente.

### **Descrição mecânica dos circuitos de interface**

As definições mecânicas são poucas, inclusive a norma RS 232C não especificou o tipo de conector a ser utilizado, assinalando apenas que um conector fêmea deve ser utilizado no DCE e macho nos DTE, porém, a indústria e os usuários adotaram o conector DB - 25 como "padrão".

A norma também não fornece todas as características do meio físico, citando apenas a máxima capacitância para um cabo instalado como de 2500pF.

São fornecidos, porém, os nomes para os circuitos de interface que na verdade correspondem aos sinais elétricos utilizados, além da correspondente numeração de cada um dos pinos do conector.

O quadro abaixo fornece esses nomes apenas para os pinos utilizados, sua descrição em português e a numeração correspondente.

A coluna de abreviações, apesar de não especificada na norma, foi incluída pois, devido à grande difusão das mesmas entre os usuários, tornaram-se uma espécie de "norma informal".

| Pino | Abr. | Nome   | Descrição                   |
|------|------|--|-----------------------------|
| 1    | GND  | <i>Protective Ground</i>                                     | Terra de Proteção (Chassis) |
| 2    | TD   | <i>Transmitted Data</i>                                      | Dados Transmitidos          |
| 3    | RD   | <i>Received Data</i>   | Dados Recebidos             |
| 4    | RTS  | <i>Request to Send</i>                                       | Solicitação de Transmissão  |
| 5    | CTS  | <i>Clear to Send</i>   | Pronto para Transmissão     |
| 6    | DSR  | <i>Data set Ready</i>  | Modem (DCE) Operacional     |
| 7    | ---  | <i>Commom</i>  | Referência de Tensão        |
| 8    | DCD  | <i>Received line Signal Detect<br/>(Data Carrier Detect)</i> | Recebendo Portadora         |
| 20   | DTR  | <i>Data Terminal Ready</i>                                   | Terminal (DTE) Operacional  |
| 22   | RI   | <i>Ring Indicator</i>  | Indicador de Chamada        |
| 23   | DSR  | <i>Data Signal Rate Detector</i>                             | Seleção de Velocidade       |

Com respeito às abreviações, TD pode ainda ser encontrado como XMIT ou TxD, e RD como RCV ou RxD em algumas literaturas.

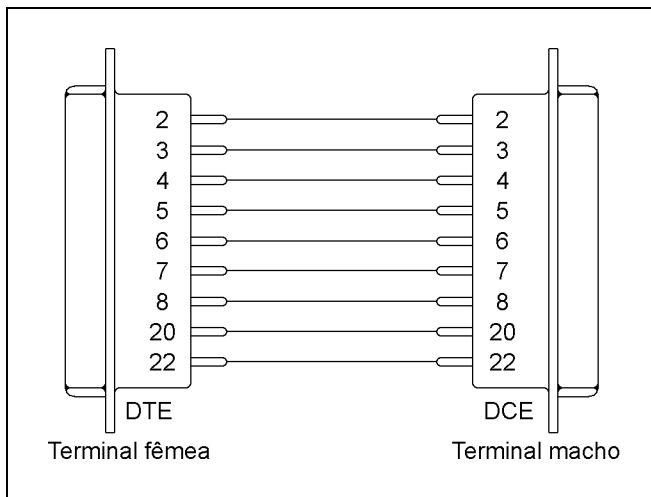
Uma outra padronização proposta pelo CCITT, chamada de V24, abrange toda a RS 232, e define outros sinais adicionais. A recomendação CCITT V24 é muito utilizada em Teleprocessamento e Telecomunicações, de modo que não a utilizaremos em nosso curso; a tabela a seguir mostra os sinais adicionais.

| Pino | Abr. | Descrição                  |
|------|------|----------------------------|
| 15   | TCK  | Sincronismo de Transmissão |
| 17   | RCK  | Sincronismo de Recepção    |
| 18   | LAL  | Enlace Lógico Remoto       |
| 21   | LDR  | Enlace Digital Remoto      |
| 24   | TCKE | Sincronismo Externo P/TX   |
| 25   | TST  | Modem em Teste             |

A norma RS 232 também classifica os sinais conforme sua função em: sinais de Dados (pinos 2 e 3) e sinais de Controle (pinos restantes).

O fluxo dos sinais, se entrada ou saída, é convencionado pelo ponto de vista de um DTE; por exemplo, no pino 2 (TD), o fluxo é de saída do DTE (ou Dados Transmitidos do DTE) e surge no pino 2 (TD) do DCE como fluxo de entrada (ou Dados Transmitidos pelo DTE). O mesmo raciocínio deve ser aplicado para os outros sinais.

Assim sendo, o cabo para ligação entre DTE - DCE deve conectar os pinos correspondentes entre si; a figura abaixo nos mostra um exemplo de como seria tal cabo.



### Características elétricas dos sinais

Com respeito à velocidade de transmissão, a norma apenas recomenda uma faixa de trabalho de zero até 20.000bps; a norma previne contra o uso de cabos maiores que 50 pés (por volta de 1.500m) a não ser que a capacitância total esteja abaixo de 2.500pF.

Com relação aos níveis de tensão, a norma estabelece uma representação bipolar dos estados lógicos, ou seja, polaridades diferentes para cada estado lógico "0" e "1", estabelecendo uma faixa máxima de 15v até - 15v.

São estabelecidas faixas de tensão diferentes para sinais de entrada e sinais de saída, e também se o sinal é de controle ou de dados.

Para os sinais de Dados, definiu-se Marca (lógico "1"), ou linha inativa, como uma tensão negativa. Para os sinais de controle, o estado lógico "1" é representado por uma tensão positiva.

Note também que os sinais de entrada possuem uma faixa de reconhecimento a partir de 3v ou - 3v e os de saída operam a partir de 5v ou - 5v.

Essa diferença de 2 volts caracteriza uma certa margem de segurança contra atenuação do sinal entre DTE e DCE. Verifique que as faixas de 5v a 15v, -5v a -15v ou as de 3v a 15v e -15v asseguram boa imunidade a ruídos.

Devido aos valores de tensão utilizados pelo RS 232 serem diferentes daqueles obtidos em um Microcomputador (normalmente TTL), faz-se necessário o uso de conversores de linha tanto nas linhas de entrada quanto de saída (*line drivers*).

Esses circuitos são facilmente encontrados e, juntamente com os circuitos integrados dedicados à transmissão serial, compõem um conjunto que auxilia tanto o projetista de hardware quanto o programador, executando muitas vezes a inversão de lógica entre sinais de controle e dados de modo transparente ao programador.

É possível encontrar algumas interfaces que trabalham com níveis de tensão diferentes daqueles especificados pela norma, por exemplo, circuitos que consideram falso ("0") o sinal de entrada de controle que estiver abaixo de 3V (enquanto a norma recomenda abaixo de -3V).

### **Descrição funcional dos sinais de interface**

Passaremos a descrever então a função de cada um dos sinais definidos na norma.

#### ***Protective ground* (Terra de proteção) - Pino 1**

Este pino deve ser conectado ao chassis do equipamento, o qual está normalmente ligado ao pino central dos conectores de alimentação AC.

#### ***Commom* (Referência de tensão) - Pino 7**

Este é o sinal de zero volts, de onde as tensões nos outros pinos são referenciadas; ligar este pino ao pino 1 poderá causar dano ao equipamento ou mau funcionamento.

#### ***Data terminal ready* (Terminal operacional) - DTR - Pino 20**

Este sinal indica que o DTE está operacional e solicita que o Modem conecte-se à linha de comunicação e a mantenha. Durante uma Transmissão, a inibição do sinal DTR faz com que o Modem cancele a ligação estabelecida.



**Data carrier detect (Recebendo portadora) - DCD - Pino 8**

Este sinal assegura ao DTE que o Modem está ligado a um Modem remoto; por essa razão o DCD é utilizado apenas no Modem que recebe, não no que transmite.

**Data set ready (Modem operacional) - DSR - Pino 6**

Este sinal deve estar presente quando forem satisfeitas as condições:

- Modem está conectado ao canal de comunicação ("fora-do-gancho").
- Modem discou, ou executou qualquer operação necessária para estabelecer a ligação.
- Modem já recebeu frequência de resposta do Modem remoto.

Assim sendo, quando o DSR for ativado a transmissão de dados pelo DTE pode ser iniciada.

**Request to send (Solicitação para transmissão) - RTS - Pino 4**

Este sinal prepara o Modem para iniciar uma transmissão. Para os Modems em *Half-Duplex* este sinal serve para avisar quando o DTE vai transmitir ou ficar recebendo, já que a linha não permite as duas coisas simultaneamente.

**Clear to send (Modem pronto para transmissão) - CTS - Pino 5**

Este sinal é fornecido pelo Modem significando que o DTE pode iniciar uma Transmissão. Em transmissões *Half-Duplex*, é utilizado pelo Modem quando este recebe RTS do DTE, para avisar que a linha está pronta. De outras é utilizado para controlar o fluxo da transmissão do DTE para o Modem.

**Transmitted data (Dados transmitidos) - TD - Pino 2**

É o sinal que leva os dados seriais para serem enviados pelo Modem, deve permanecer em Marca sempre que estiver inativo. Observe pelo já exposto que o DTE só pode transmitir dados na presença dos sinais RTS, CTS, DSR e DTR.

**Received data (Dados recebidos) - RD - Pino 3**

O funcionamento deste sinal não depende de nenhum outro de controle, é sempre mantido em Marca pelo Modem quando não existe ligação com outro Modem ou durante uma transmissão de dados, durante uma comunicação *Half-Duplex*.

**Ring indicator (Linha chamando) - RI - Pino 22**

Este pino é ativado quando o Modem receber uma chamada ("telefone tocando") inclusive pulsando como o tom de chamada. Este sinal aparece não importando o estado do sinal DTR.

**Data signal rate detector (Seleção de velocidade) - DSRD - Pino 23**

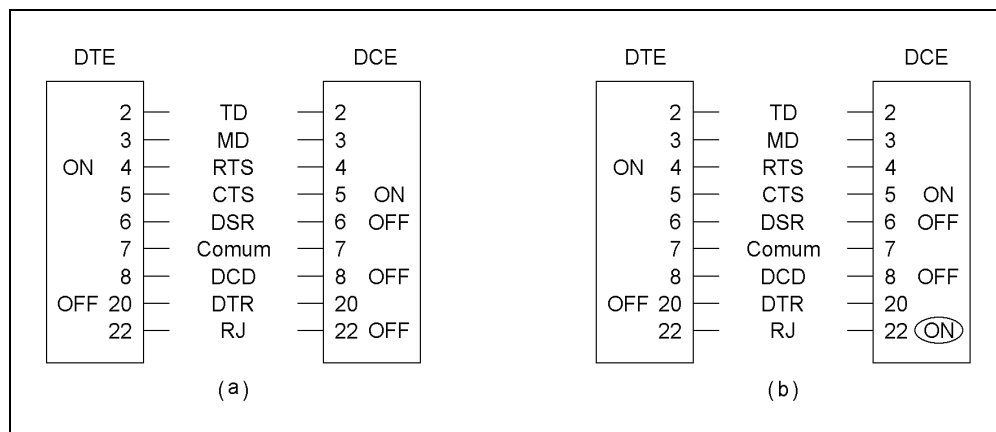
Se o Modem pode dispor de duas velocidade de transmissão, a maior delas é indicada pela ativação deste sinal. Muitas vezes, dependendo de prévio entendimento, o DTE pode solicitar ao Modem aumento ou diminuição de velocidade durante uma Transmissão.

**Simulação de chamada**

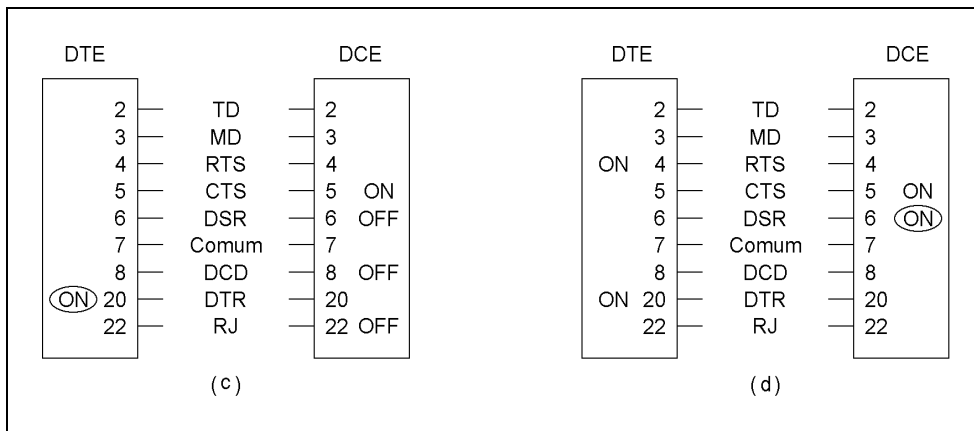
Vamos simular uma chamada *Full-Duplex* sendo atendida pelo Modem e estudar o intercâmbio de sinais que ocorrem entre o Microcomputador e o Modem. Nesta chamada, os sinais CTS / RTS estão sempre ativos pois não estamos fazendo operação *Half-Duplex*.

Considere então as figuras seguintes:

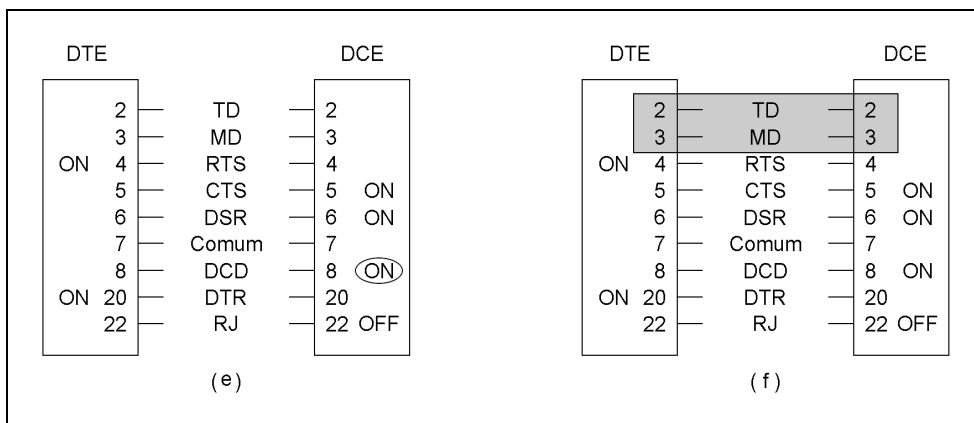
1. Partindo do estado inicial (a), temos uma chamada com RI = 1 ou pulsando em (b).



2. O Micro então autoriza o Modem a atender a chamada fazendo DTR = 1 em (c); quando o Modem termina suas tarefas de conexão sinaliza com DSR = 1 (d).



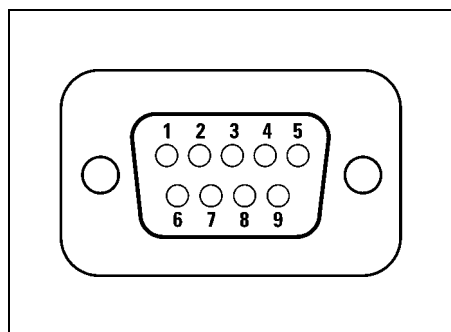
3. Assim que se estabelece a ligação com o Modem remoto, temos DCD = 1 (e); isso feito, inicia-se a troca de dados pelos pinos 2 e 3 (f).



Uma atenção especial devemos ter quando da programação de circuitos desconhecidos como UART - *Universal AssIncrinous Receiver Transmitter* ou USART - *Universal Sincronous Assincronous Receiver Transmitter*; deve-se, além de conhecer muito bem o hardware onde tal circuito está montado, examinar muito bem o manual do fabricante, procurando verificar como os sinais de controle de RS 232 estão sendo utilizados, pois pode ser que alguns sejam utilizados de forma não prevista na norma. Devido aos usos não previstos, vamos verificar como é utilizada a norma na interligação micro-a-micro.

## Microcomputadores e a RS 232

Apesar da norma RS 232 contemplar a interface entre DTE e DCE, a sua adoção pelos fabricantes de Microcomputadores como padrão para o canal serial assíncrono gerou um tipo especial de utilização, como as ligações assíncronas, entre DTE/DTE (ou Micro-a-Micro); isso possibilitou a redução do número de sinais necessários e o uso de conectores de 9 pinos (DB-9).

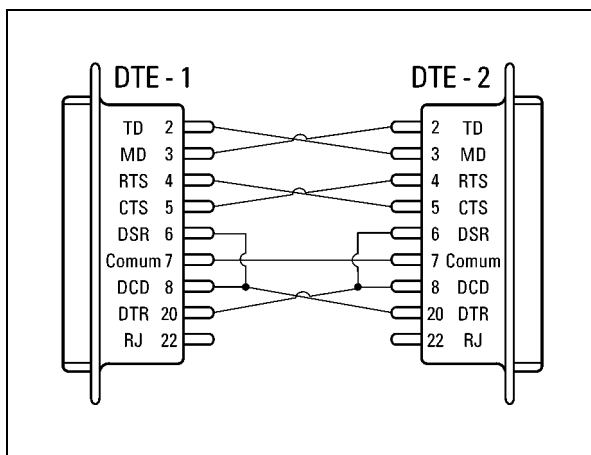


A tabela abaixo nos mostra tais sinais e sua correspondência com o conector D-9.

| Nº do Pino | Abreviação | Nome                       |
|------------|------------|----------------------------|
| 1          | DCD        | <i>Data Carrier Detect</i> |
| 2          | RD         | <i>Received Data</i>       |
| 3          | TD         | <i>Transmitted Data</i>    |
| 4          | DTR        | <i>Data Terminal Ready</i> |
| 5          | ---        | <i>Common</i>              |
| 6          | DSR        | <i>Data Set Ready</i>      |
| 7          | RTS        | <i>Request to Send</i>     |
| 8          | CTS        | <i>Clear to Send</i>       |
| 9          | RI         | <i>Ring Indicator</i>      |

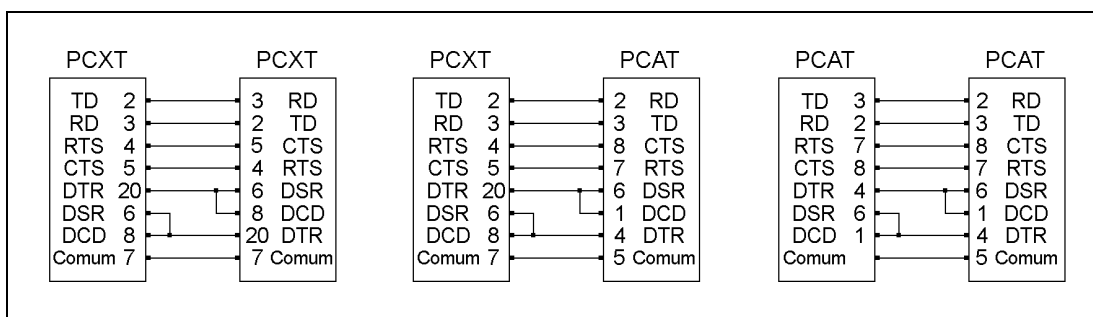
A ligação entre dois Microcomputadores (DTE-DTE) deve ser feita com cuidado, pois não é possível utilizar o mesmo cabo que liga DTE-DCE para ligação DTE-DTE. Note que, para a ligação entre Micros, o sinal TD (pino 2) presente no DTE de um lado deve atingir o RD (pino 3) do DTE do outro lado para que exista comunicação.

Para isso é utilizado um cabo especial chamado "Modem Nulo", "Anulador de Modem", ou "Cross Over", visto na figura abaixo.



Observe como os pinos 2 e 3 são ligados invertidos, já o sinal RTS-1 alimenta CTS-2; RTS-2 sinaliza para CTS-1.

Finalmente, DTR-1 ligado a DSR-2 e DCD-2; DTR-2 ligado a DSR-1, sendo que o pino 7 é o único ligado com seu correspondente, evidentemente.



Essa ligação pode ser alterada dependendo dos equipamentos interligados; uma consulta prévia ao manual do fabricante é sempre aconselhável. Como por exemplo, temos a seguir o esquema para construir cabos de comunicação serial para micros compatíveis IBM PC/TX e AT, lembrando que o conector padrão no XT é o DB-25, e no AT, o DB-9.

**Resumo**

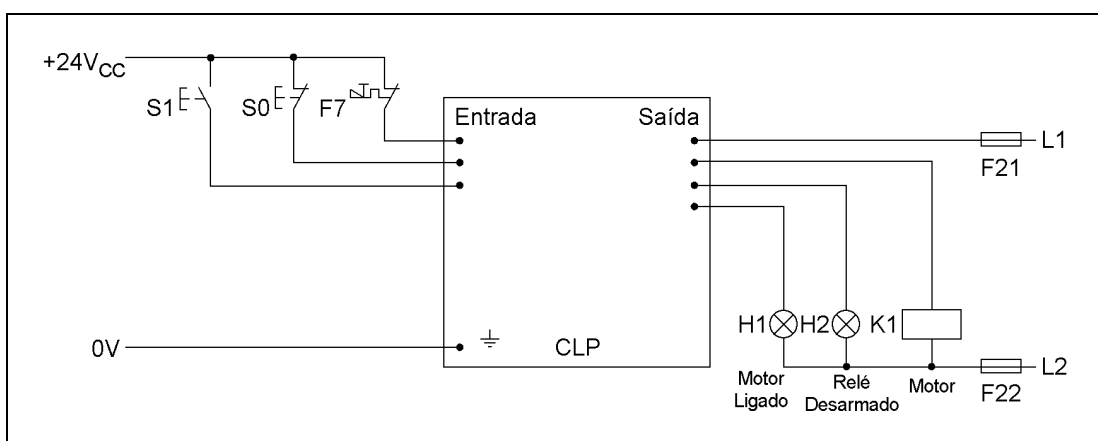
|   |   |   |  |   |
|---|---|---|--|---|
| RS 232C   | Uso recomendado:<br>ligação<br>DCE – DTE                                  | Descrição de sinais de interface, classificados em sinais de Dados e sinais de Controle. Uso de conector DB-25 nos micros tipo PC XT. | Cabo de ligação pino-a-pino; máxima capacitância total: 2.500pF. |   |
|   |   |   | Níveis de tensão bipolares (entre +15v e -15v)                   |   |
|   |   |   | Sinais de Controle   | Para entrada:<br>"1": 3v/15v<br>"0": -3v/-15v |
|   |   |   |  | Para saída:<br>"1": + 5v/15v<br>"0": -5v/-15v |
| Sinais de Dados (apenas pinos 2 e 3)  | Para entrada:<br>"0": 3v/15v<br>"1": -3v /-15v                            |   |  |   |
|   | Para saída:<br>"0": +5v/15v<br>"1": - 5v/-15v                             |   |  |   |
| Outro tipo de uso:<br>ligação<br>DTE-DTE  | Redução de sinais necessários. Uso do conector DB-9 nos micros tipo PC AT | Necessário uso de cabo especial (Modem Nulo)  |  |   |
| Modem   | Função  | Converter os sinais digitais seriais para transmissão pela rede telefônica ou por fiação com par trançado                             |  |   |
|   | Tipos   | Analgógicos ou <i>Broad Band</i> , utilizam Modulação, podem ser Síncronos ou Assíncronos   |  |   |
| Digitais ou <i>Base Band</i> , utilizam Codificação digital, podem ser Síncronos ou Assíncronos |   |   |  |   |

# Elaborar programa para um comando simples

Este ensaio tem como objetivo a elaboração de um programa para acionamento de um motor trifásico, comandado por botões liga/desliga e proteção por relé térmico.

## Procedimentos

1. Montar o circuito abaixo.



2. Endereçar as entradas e saídas.
3. Executar a programação necessária.
4. Enviar o programa ao controlador programável.
5. Testar e monitorar o funcionamento.



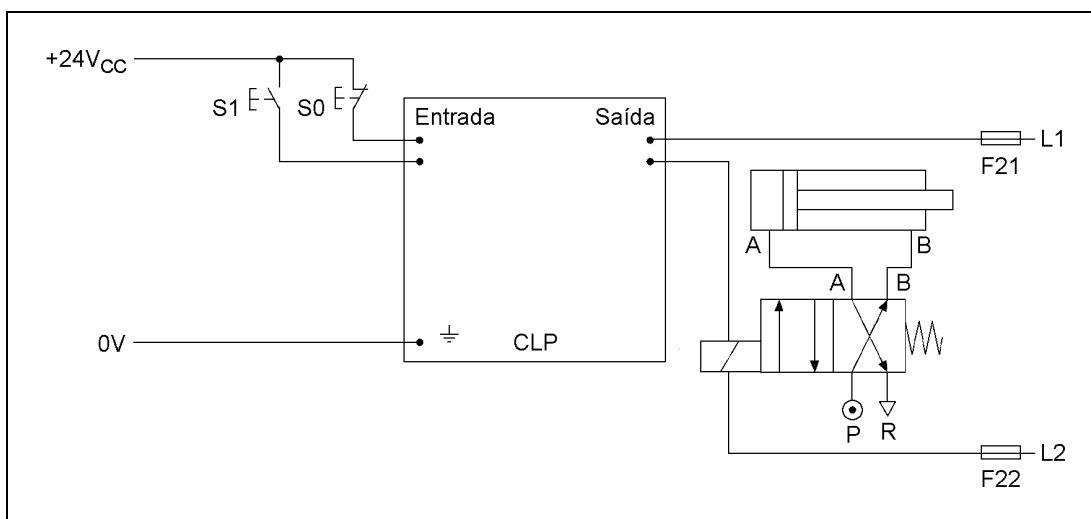


# Elaborar programa para acionamento de pistão

Este ensaio tem como objetivo desenvolver um programa para comandar o pistão pneumático, sendo que o comando para avanço e recuo será feito através de comando.

## Procedimentos

1. Montar o circuito abaixo.



2. Endereçar as entradas e saídas.
3. Executar a programação necessária.
4. Enviar o programa ao controlador programável.
5. Testar e monitorar o funcionamento.

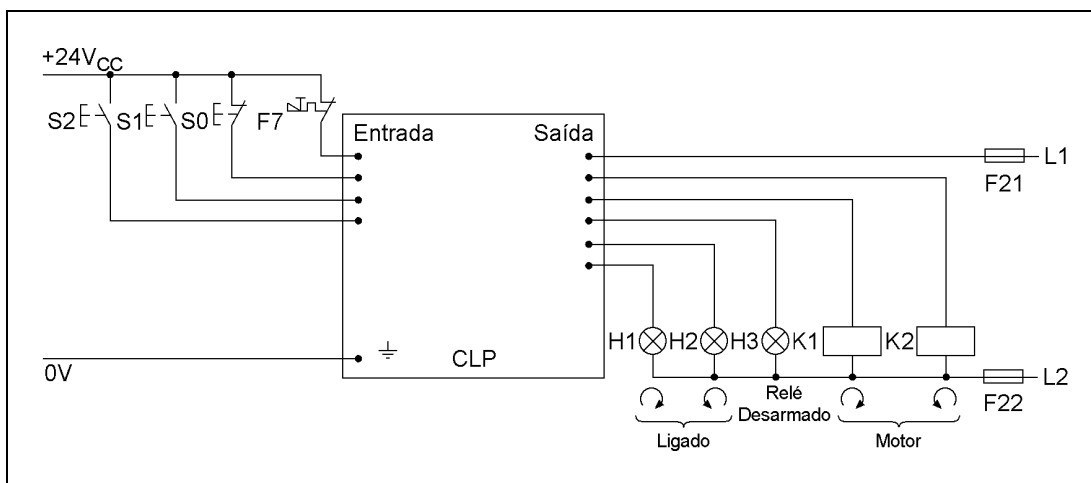


# Elaborar programa para reversão de motor

Este ensaio tem como objetivo elaborar um programa para acionar um motor trifásico, com inversão do sentido de rotação.

## Procedimentos

1. Montar o circuito abaixo.



2. Endereçar as entradas e saídas.
3. Executar a programação necessária.
4. Enviar o programa ao controlador programável.
5. Testar e monitorar o funcionamento.

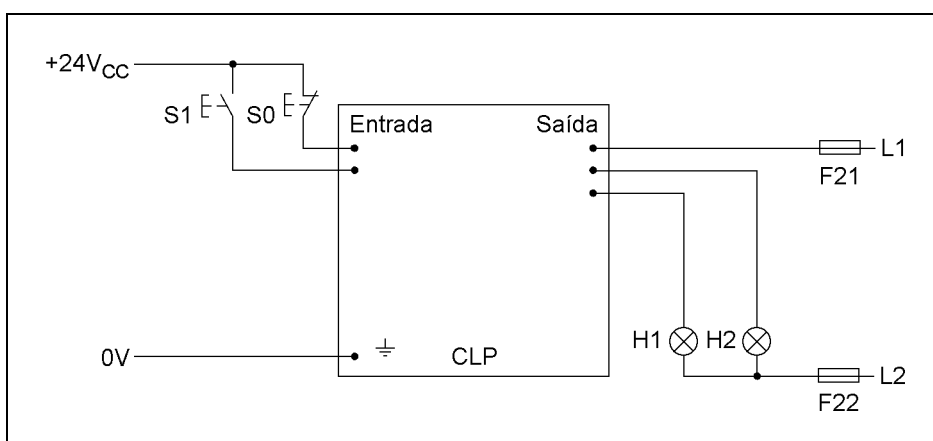


# Elaborar programa para pisca-pisca

Este ensaio tem como objetivo elaborar um programa para obter um pisca-pisca de 5 segundos.

## Procedimentos

1. Montar o circuito abaixo.



2. Elaborar um programa de pisca-pisca.
3. Endereçar as entradas e saídas.
4. Executar a programação necessária.
5. Enviar o programa ao controlador programável.
6. Testar e monitorar o funcionamento.

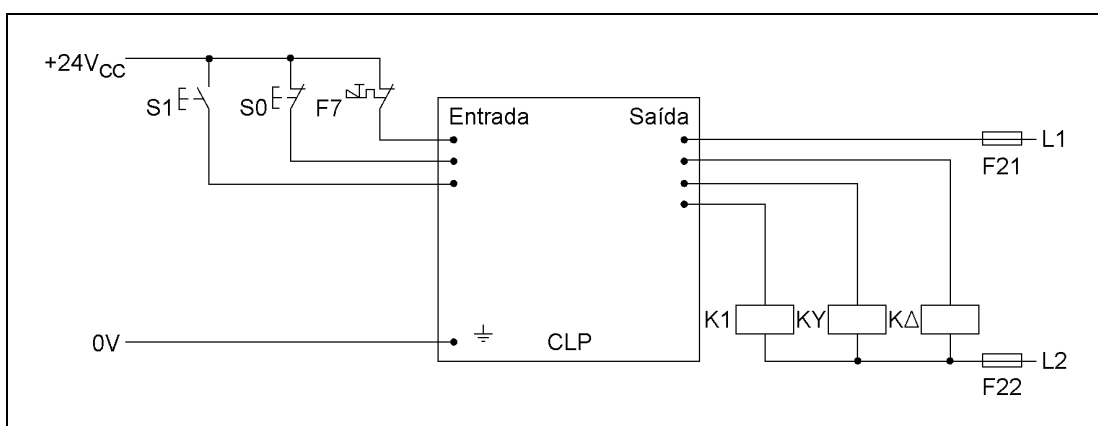


# Elaborar uma partida de motor estrela-triângulo

Este ensaio tem como objetivo elaborar um programa para comandar uma partida estrela-triângulo.

## Procedimentos

1. Montar o circuito abaixo.



2. Endereçar as entradas e saídas.
3. Executar a programação necessária.
4. Enviar o programa ao controlador programável.
5. Testar e monitorar o funcionamento.



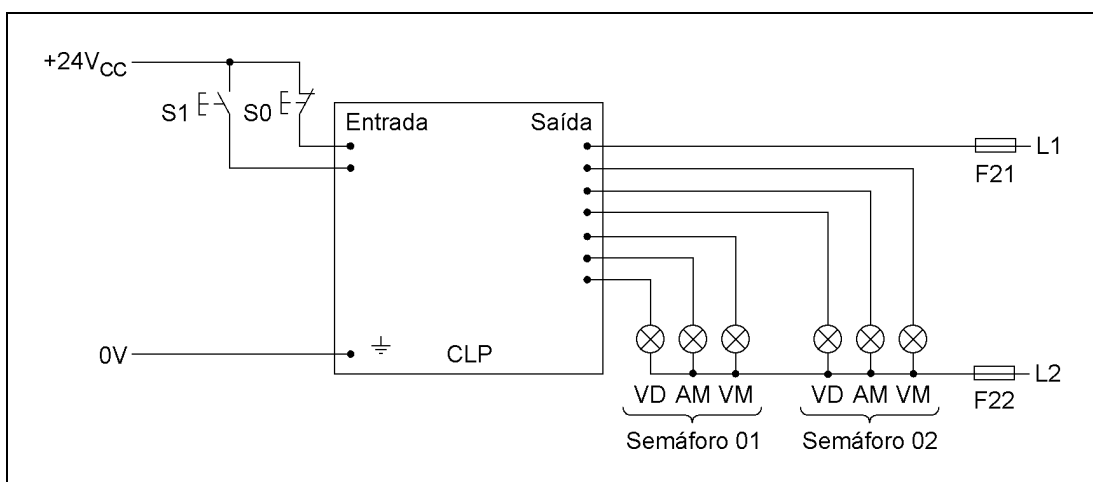


# Elaborar um semáforo

Este ensaio tem como objetivo desenvolver um sistema de semáforos para um cruzamento de duas ruas.

## Procedimentos

1. Montar o circuito abaixo.



|            |    | 10 s | 5 s | 10 s | 5 s |
|------------|----|------|-----|------|-----|
| Semáforo 1 | VM |      |     |      |     |
|            | AM |      |     |      |     |
|            | VD |      |     |      |     |
| Semáforo 2 | VM |      |     |      |     |
|            | AM |      |     |      |     |
|            | VD |      |     |      |     |

2. Endereçar as entradas e saídas.
3. Executar a programação necessária.

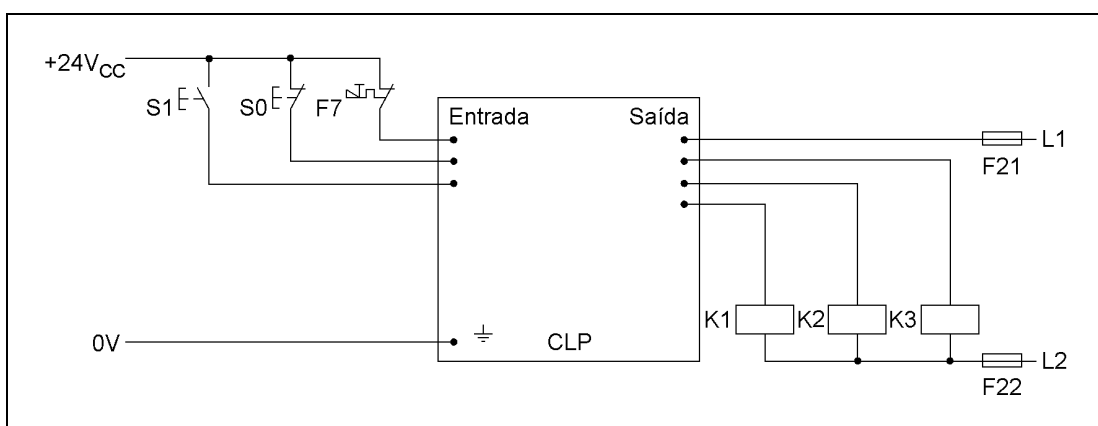
4. Enviar o programa ao controlador programável.
5. Testar e monitorar o funcionamento.

# Elaborar uma partida de motor com compensadora

O objetivo desse ensaio é implementar um programa para acionar um sistema de partida de motor com compensadora.

## Procedimentos

1. Montar o circuito abaixo.



## Observação

Prever um sistema de proteção que limite o número de partidas em 10 por hora.

2. Endereçar as entradas e saídas.
3. Executar a programação necessária.
4. Enviar o programa ao controlador programável.
5. Testar e monitorar o funcionamento.

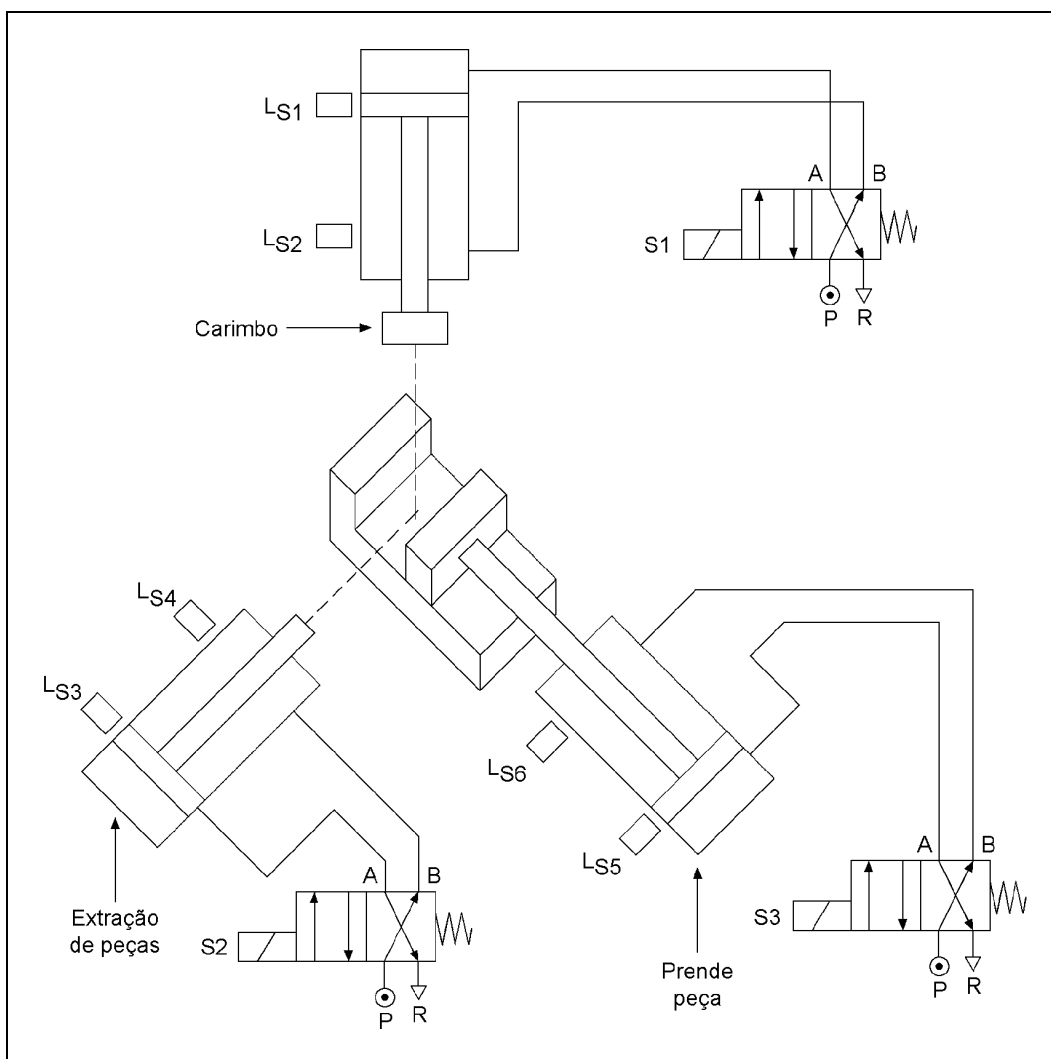


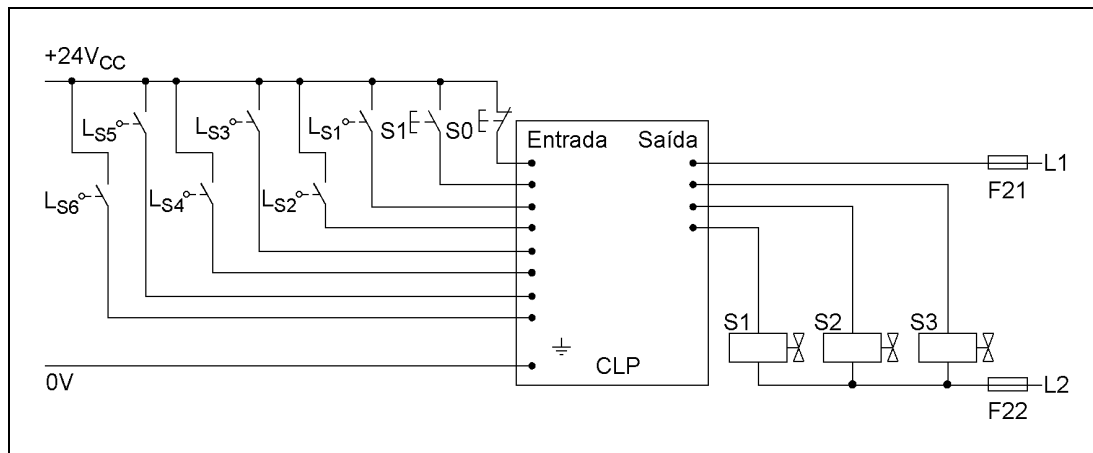
# Elaborar programa para carimbadeira

Este ensaio tem como objetivo elaborar um programa para controle semi-automático de carimbadeira.

## Procedimentos

1. Montar os circuitos abaixo.





### Observações

Prever um botão de emergência para desligamento total do sistema. O ciclo será iniciado a partir de um pulso no botão liga.

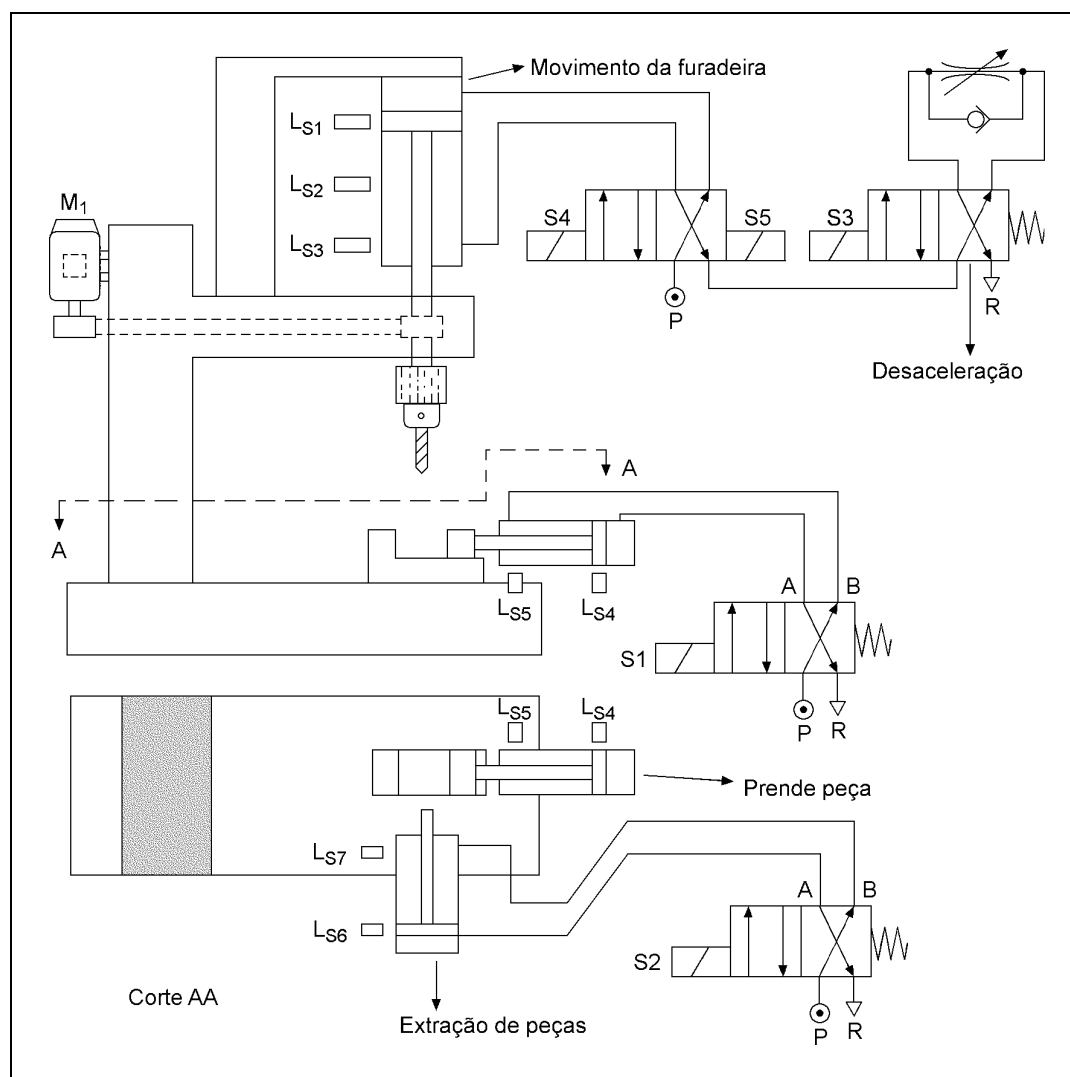
2. Endereçar as entradas e saídas.
3. Executar a programação necessária.
4. Enviar o programa ao controlador programável.
5. Testar e monitorar o funcionamento.

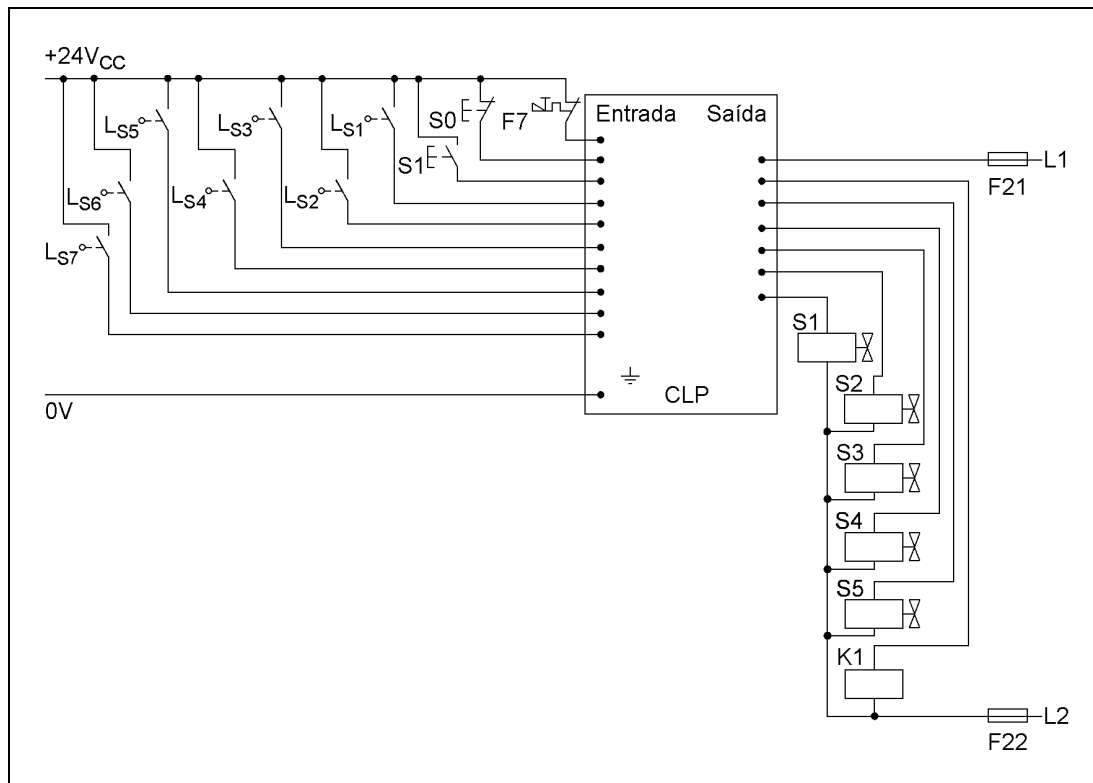
# Automatizar uma furadeira

Este ensaio tem como objetivo desenvolver um programa para automatizar o ciclo de operação da furadeira abaixo.

## Procedimentos

1. Montar os circuitos abaixo.





2. Endereçar as entradas e saídas.
3. Executar a programação necessária.
4. Enviar o programa ao controlador programável.
5. Testar e monitorar o funcionamento.

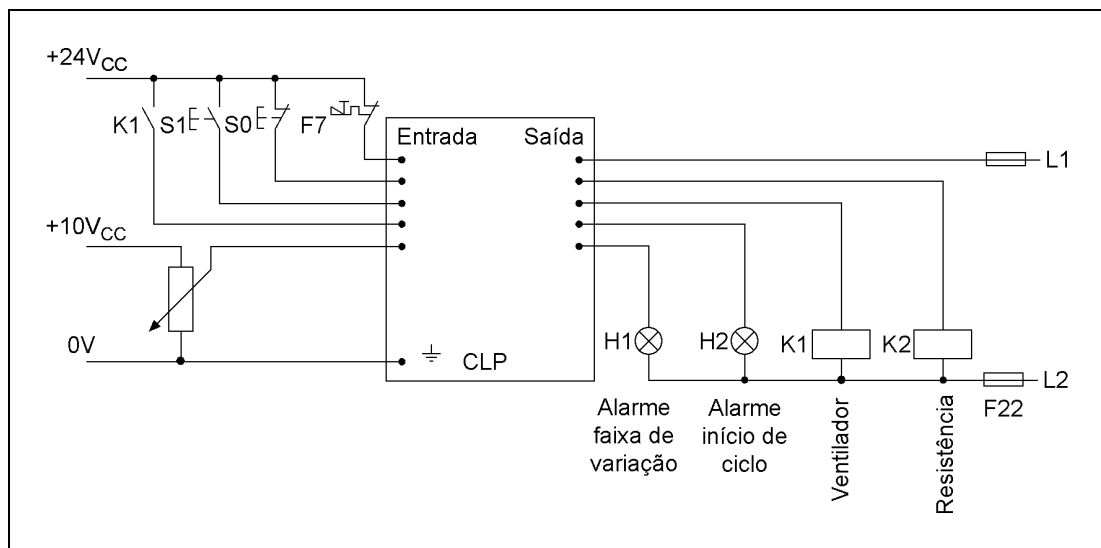


# Automatizar uma estufa

O objetivo desse ensaio é desenvolver um programa para controlar o funcionamento de uma estufa para motores, sendo que a temperatura desejada será selecionada através da chave “thumbwheel” entre 40°C e 180°C. O aquecimento será feito através de um grupo de resistências de 15KW, e um sistema de ventilação será responsável pela uniformização da temperatura no interior da estufa.

## Procedimentos

1. Montar o circuito abaixo.



2. Endereçar as entradas e saídas.
3. Executar a programação necessária para o funcionamento abaixo:
  - a. A estufa será ligada através de um botão de pulso NA e desligada através de um botão de pulso NF.

- b. A partir de um pulso no botão liga será acionado o ventilador, que através de um contato auxiliar deverá confirmar ao CP a sua ligação. Somente após a ligação do ventilador poderá ser acionado o conjunto de resistência.
  - c. O ajuste de temperatura deverá ser feito com a estufa desligada, após a ligação do sistema não será possível regular a temperatura.
  - d. A medição da temperatura será feita através de um sistema analógico de 0 a 10 Vcc, proporcional a uma temperatura de 0 a 200°C.
  - e. A temperatura no interior da estufa admite uma variação máxima de 10°C, caso esta variação aumente será atuado um alarme.
  - f. Para monitoração do funcionamento o valor de temperatura ajustado será exibido display R 170 e o valor “real” no display R 160.
  - g. Prever um sistema de alarme que atua caso não seja atingida a temperatura necessária em até 10 minutos após a ligação, indicando defeito no sistema.
4. Enviar o programa ao controlador programável.
5. Testar e monitorar o funcionamento.

# Sensoriamento

Atualmente, é muito comum nos depararmos com situações em que devemos nos preocupar com a segurança pessoal e de nossos bens e propriedades. Daí decorre a necessidade de adquirir dispositivos e equipamentos de segurança, como os sistemas de alarme.

Esses sistemas de alarme são basicamente equipamentos destinados a sinalizar que alguém está tentando violar alguma entrada, forçando portas ou janelas.

Um síndico de um prédio apresentou aos condôminos o orçamento de algumas empresas de segurança, para implantação de um sistema de alarme no condomínio.

Os diversos orçamentos variavam bastante em termos de custos, e todas as propostas sugeriam a instalação de uma central de alarme, diferindo fundamentalmente quanto aos pontos de colocação dos sensores e aos seus modelos e tipos.

Como pode ser observado em tal situação, seleciona-se cada sensor de acordo com sua possível localização e com o tipo de função a realizar.

Os condôminos, além de analisarem o valor das propostas, tiveram de estudar a adequação dos sensores propostos, a fim de evitar gastos desnecessários com manutenção e trocas devido à especificação inadequada.

## Exemplos de aplicações

O sistema de alarme é um exemplo típico e atual de utilização de sensores. Mas há uma variedade de áreas em que os sensores encontram aplicação.

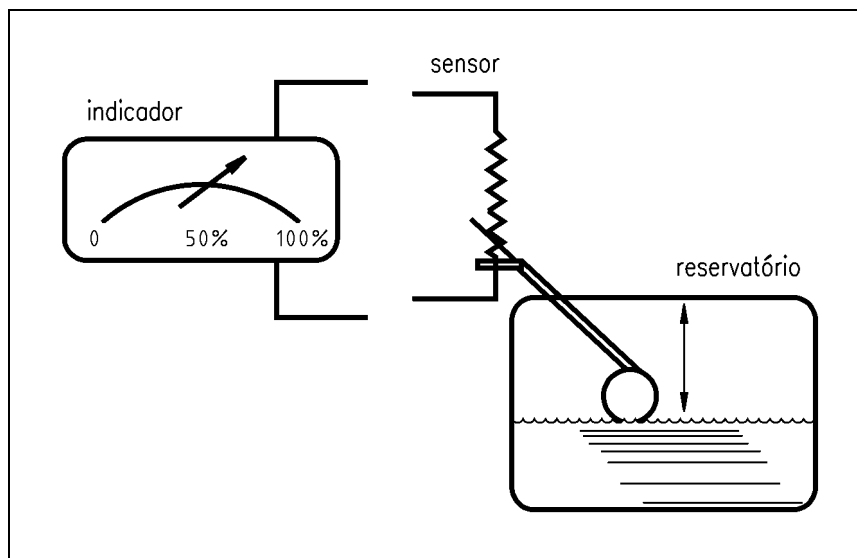
Num automóvel, por exemplo, identificamos várias dessas aplicações:

- O sistema de indicação do volume de combustível no tanque;
- O sistema de indicação do nível de óleo no cárter;
- O sistema de freios;
- Os sistemas mais modernos que indicam que as portas estão abertas e que o cinto de segurança não está sendo utilizado.

Podemos afirmar que todos os sistemas que necessitam de algum tipo de controle requerem sensores, para fornecer informações ao controle.

Nesses exemplos, pode-se observar que a função do sensor é indicar o valor ou a condição de uma grandeza física, ou seja, sensoriá-la para que se possa exercer controle sobre ela.

No caso do tanque de gasolina, o sensor funciona como indicador para o motorista abastecer o reservatório com combustível.

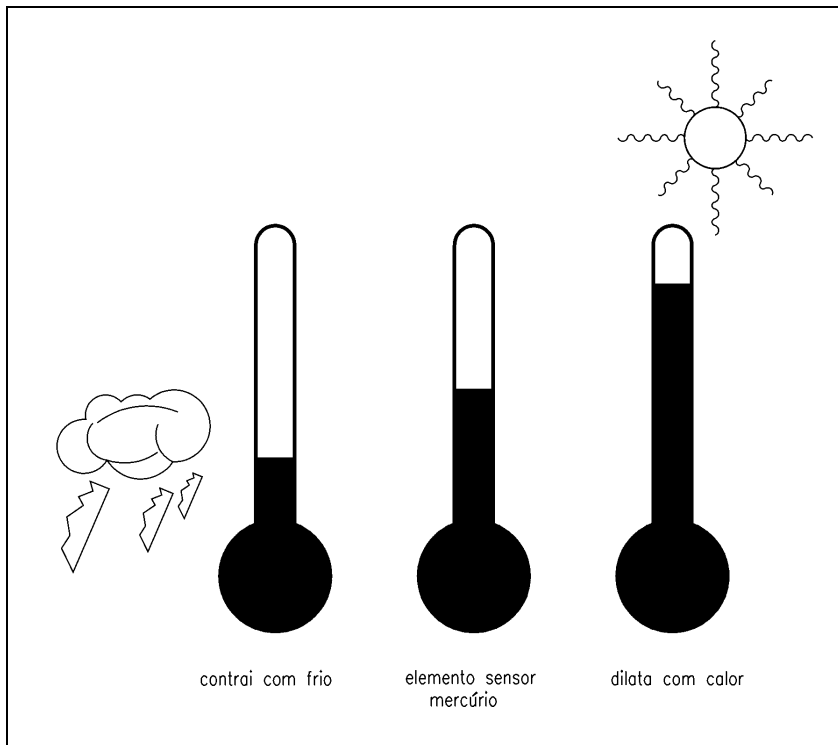


### Princípio de funcionamento

O sensor é um dispositivo capaz de monitorar a variação de uma grandeza física e transmitir esta informação a um sistema de indicação que seja inteligível para o elemento de controle do sistema.

Sensor: dispositivo de entrada que converte um sinal de qualquer espécie em outro sinal que possa ser transmitido ao elemento indicador, para que este mostre o valor da grandeza que está sendo medida.

O termômetro é um sistema de indicação que tem como elemento sensor o mercúrio. A grandeza física a ser medida é a temperatura e a grandeza física do elemento sensor, que varia proporcionalmente com a variação da temperatura, é o seu volume, pois o mercúrio se dilata com o aumento da temperatura.



Conhecendo a proporção dessas variações, podemos identificar e medir o valor da temperatura, observando o comprimento da coluna de mercúrio.

O sensor é utilizado com base nas variações de grandezas.

Todos os elementos sensores são denominados transdutores.

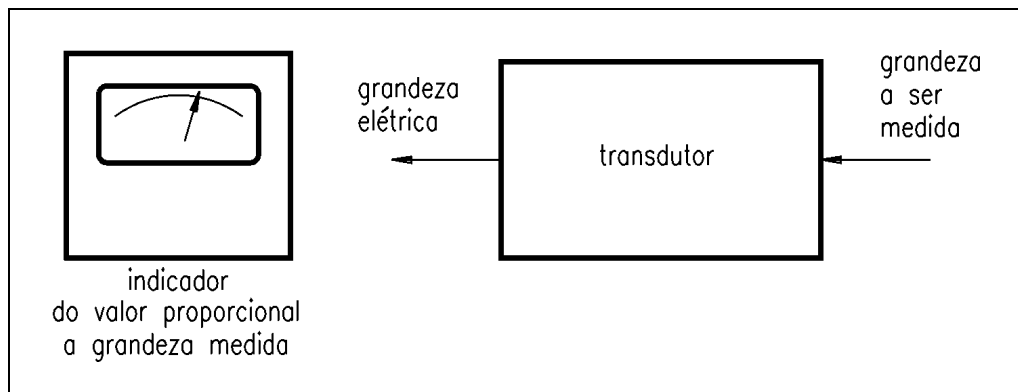
### **Transdutor**

É todo dispositivo que recebe um sinal de entrada em forma de uma grandeza física e fornece uma resposta de saída, da mesma espécie ou diferente, que reproduz certas características do sinal de entrada, a partir de uma relação definida.

A maior parte dos sensores são transdutores elétricos, pois convertem a grandeza de entrada para uma grandeza elétrica, que pode ser medida e indicada por um circuito eletroeletrônico denominado medidor.

A maior parte dos medidores, como os de painéis de automóveis, barcos e aviões, registra uma grandeza elétrica proporcional à variação da grandeza que está sendo indicada pelo sensor - a grandeza controlada.

Observe a figura.



As grandezas elétricas que apresentam variações proporcionais às grandezas que estão sendo “sentidas” e indicadas pelos sensores são: corrente elétrica, tensão elétrica e resistência elétrica.

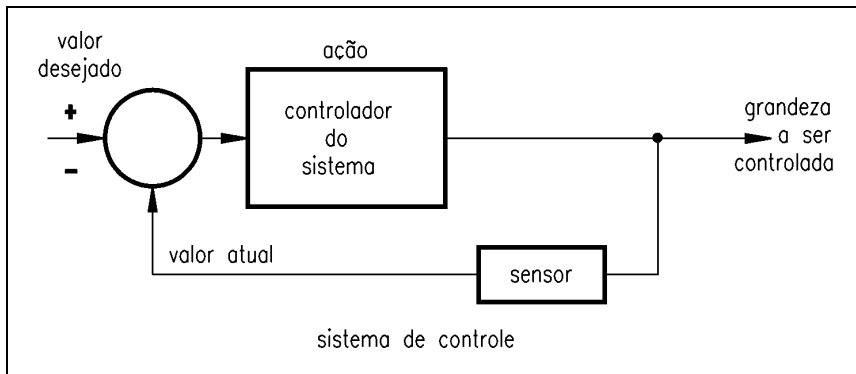
Essas grandezas são utilizadas normalmente, pois a maioria dos medidores e elementos de controle que utilizam estas informações são capazes de ler os sinais sem dificuldade.

### Sistema de controle

Os sensores estão vinculados aos sistemas de controle.

O sistema de controle é um processo acionado por um dispositivo de controle, que determina o resultado desejado e, ao longo do tempo, indica o resultado obtido e corrige sua ação para atingir, o mais rápido possível, o valor desejado.

Para que o controle ocorra, são acoplados sensores ao sistema. Os sensores registram os resultados e grandezas do processo, fornecendo ao dispositivo de controle informações sobre o valor desejado.



Existem diversos exemplos de sistemas de controle no nosso dia-a-dia. Uma caminhada para um determinado lugar, por exemplo, pode ser considerada como um sistema de controle. O processo é a caminhada. O dispositivo de controle é o nosso cérebro. Os atuadores são nossas pernas e pés.

O dispositivo de controle estimula os atuadores a alcançarem o objetivo desejado.

O processo da caminhada é dinâmico, ou seja, o controle sobre os atuadores (nossos pés e pernas) ocorre constantemente, de forma que o cérebro nos orienta a andar mais rápido ou mais lentamente, virar para a esquerda, para a direita ou andar em frente.

### Malha fechada e malha aberta

Malha fechada é um sistema de controle que usa sensores para identificar a distância do resultado desejado e corrigir suas ações para alcançá-lo.

Malha aberta é um sistema em que o controle ocorre sem que haja uma amostragem do resultado ao longo do processo, ou seja, sem utilização de sensores; é como se caminhássemos com os olhos fechados, acreditando já conhecer o caminho.

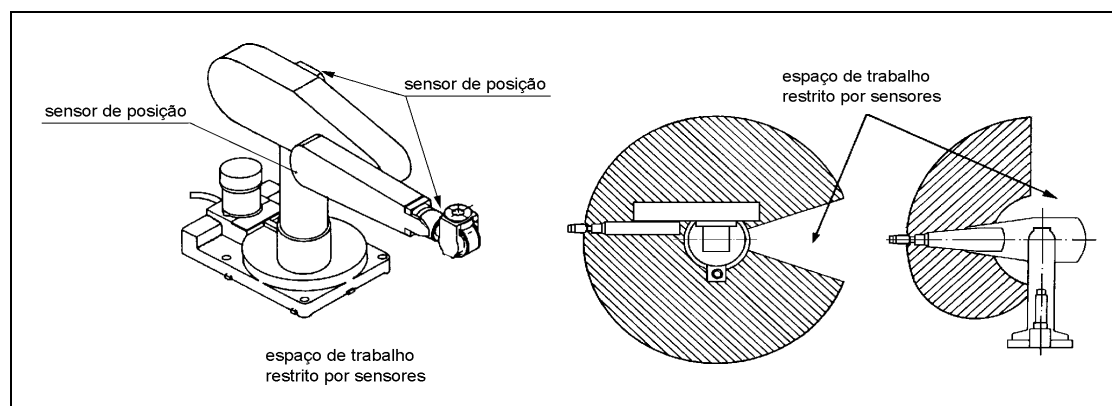
É cada vez menor o número de sistemas em malha aberta, em função da crescente necessidade de se atingir resultados mais precisos e rápidos, e também devido ao desenvolvimento de elementos sensores bastante precisos e adequados às mais diversas aplicações.

## Sensores e aplicações industriais de alta tecnologia

A seguir, alguns exemplos de aplicações de sensores em equipamentos e sistemas mais nobres.

Os robôs, que são equipamentos de última geração tecnológica, têm seu funcionamento respaldado por diversos sensores, colocados em pontos estratégicos de seu mecanismo e na sua área de atuação.

Observe a figura.



O processo de usinagem é também um exemplo de aplicação de sensores, principalmente se o processo de usinagem for automático (controlado por computador).

No processo de usinagem manual, os sensores são os olhos do operador, que coordena a produção controlando a máquina de usinagem (fresadora ou torno) por meio de instrumentos de medida, como paquímetros e micrômetros.

Na produção automatizada pelo computador, os sensores indicam ao computador o que já foi usinado do material em produção, de forma que o computador possa controlar a velocidade de operação dos mecanismos.

## Sensores analógicos e digitais

Como existem sinais analógicos e sinais digitais a serem controlados num sistema, os sensores também devem indicar variações de grandezas analógicas e digitais.

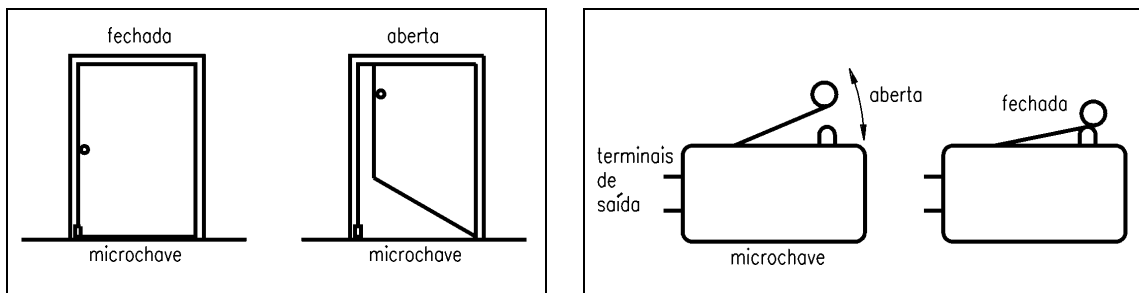
Sinal analógico: sinal cuja informação pode identificar todos os valores de uma faixa dada.



Sinal digital: sinal quantificado que indica a existência ou não de um evento.

Para um sistema de alarme, qualquer condição que não seja fechada será entendida como aberta e deve fazer o alarme disparar. Neste caso, a grandeza é digital e o sensor deve ser digital.

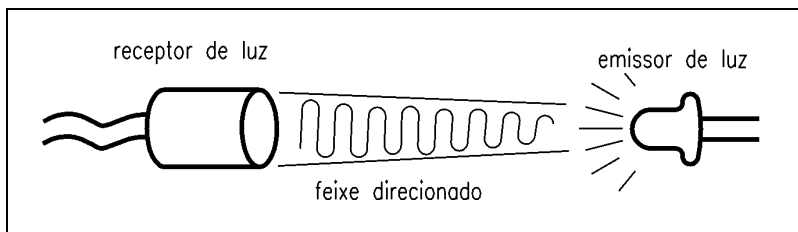
Por exemplo, uma microchave fica em posição fechada quando a entrada está fechada e se abre quando a entrada é violada.



No caso do controle de movimento do robô, a grandeza que se está controlando é analógica, pois o mecanismo do robô pode ocupar qualquer posição no espaço durante o deslocamento, desde a posição de partida até a posição final.

### Sensores e segurança no trabalho

Ainda no caso do robô, podemos também utilizar um sensor digital para indicar se o trabalhador está ou não numa área perigosa. Um dos sensores mais utilizados nesta aplicação é o sensor óptico.



Muitos equipamentos, instrumentos e máquinas devem apresentar dispositivos sensores de segurança. Quanto mais automáticas são as ações desses mecanismos, maior a segurança.

As máquinas injetoras de plástico automáticas apresentam dispositivos de segurança nas suas aberturas de acesso aos pontos de colocação dos moldes. Se uma das

portas de segurança se abrir, os sensores indicam o fato ao controle da máquina e, no mesmo instante, ela pára.

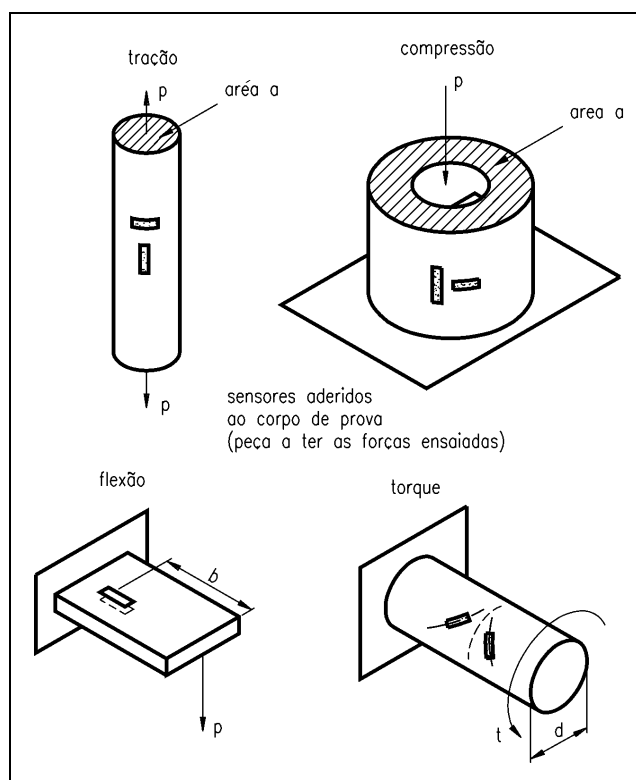
O mesmo ocorre com prensas de estampo, que só atuam se perceberem por meio de uma cortina de sensores ópticos que não existe nenhum obstáculo em seu campo de ação. Além disso, o operador deve acionar dois sensores em pontos distintos, com suas duas mãos simultaneamente, o que significa para o controlador da prensa: “se o operador acionou os dois dispositivos simultaneamente, as mãos dele estão em posições de segurança”, e então a prensa pode ser acionada.

A legislação trabalhista e a normalização vêm garantindo cada vez mais a implantação de sistemas de segurança de operação em equipamentos, automatizados ou não.

### Tipos de sensores

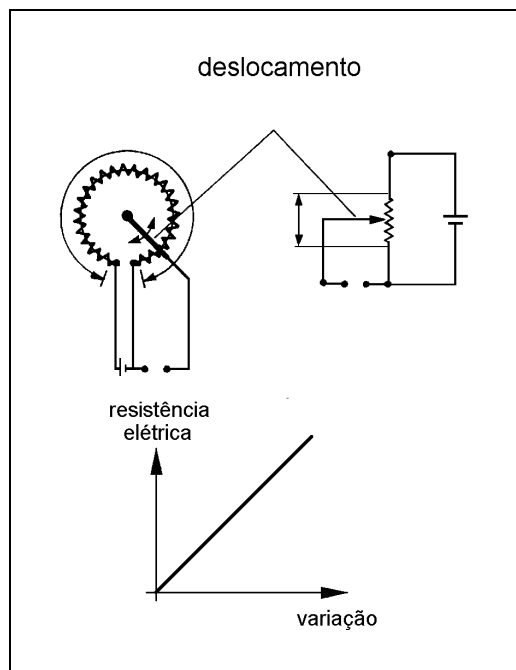
A variedade de sensores é grande. O mercado tem sensores especificados para cada aplicação.

*Strain gauge* são sensores que medem deformação superficial de peças. Eles transformam o valor da deformação em sinais elétricos.



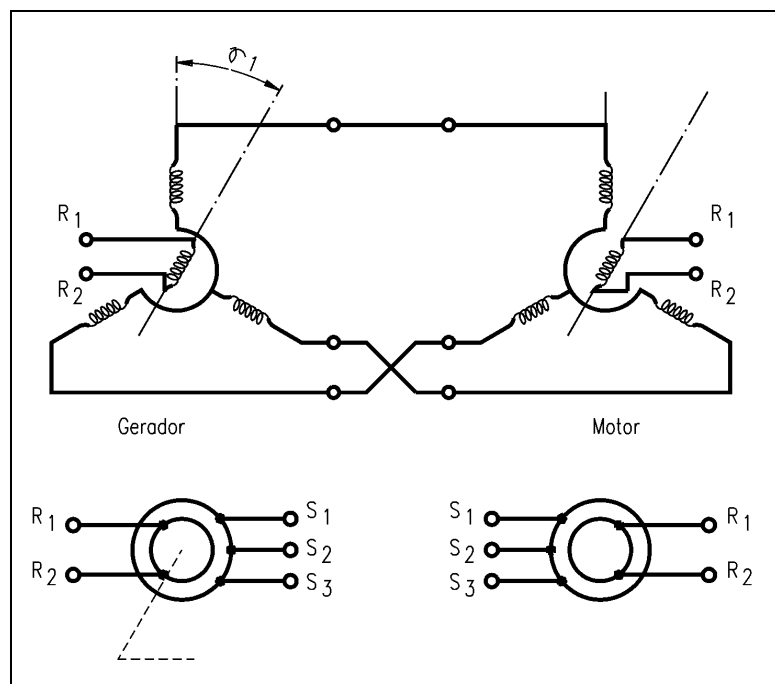
*Aderidos ao corpo de prova (peça a ter as forças ensaiadas sensores)*

Potenciométrico é um sensor bastante simples, com elemento resistivo que pode ser um fio bobinado ou um filme de carbono ou de matéria plástica resistiva.



*Synchro* e *resolvers* (sensores de deslocamento angular) são sensores que se compõem de um transmissor e um receptor.

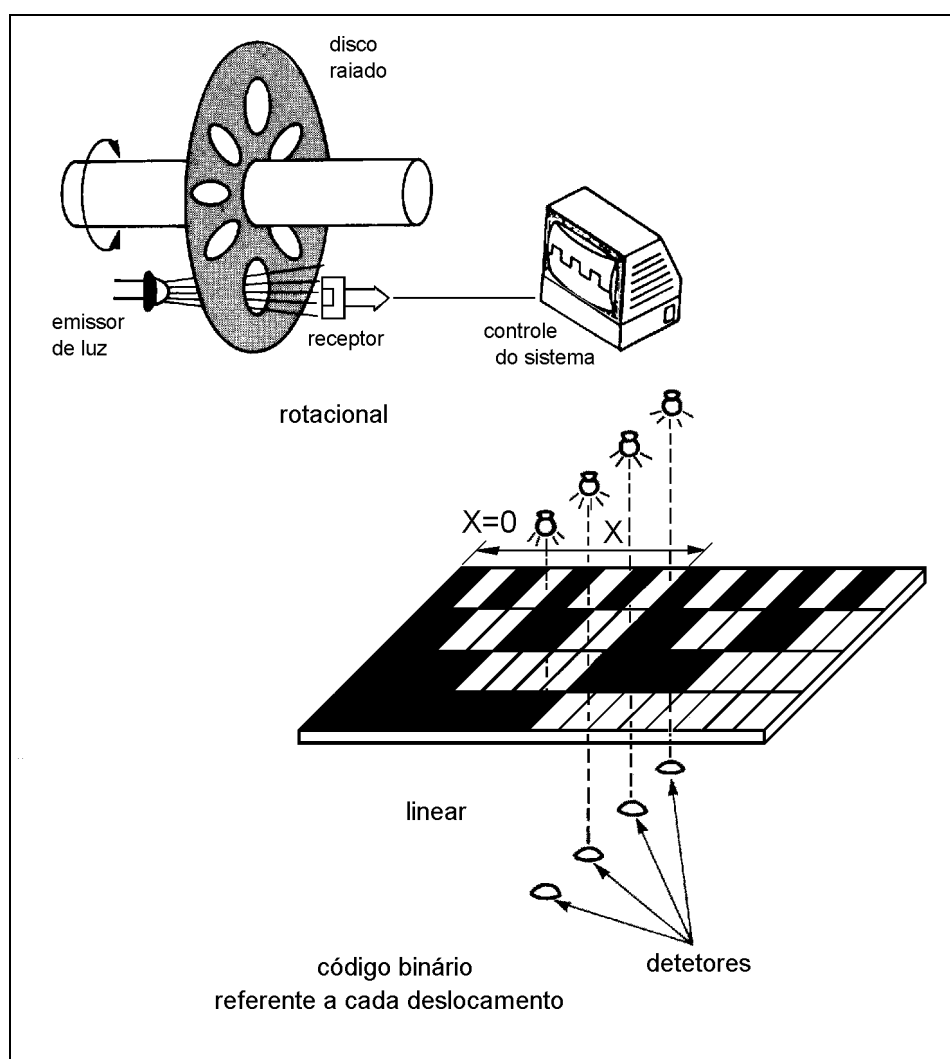
Nesses sensores, o rotor do motor se desloca proporcionalmente ao deslocamento do rotor do gerador.



O rotor do transmissor é alimentado em corrente alternada e gira solidário à peça da qual se pretende medir o deslocamento angular.

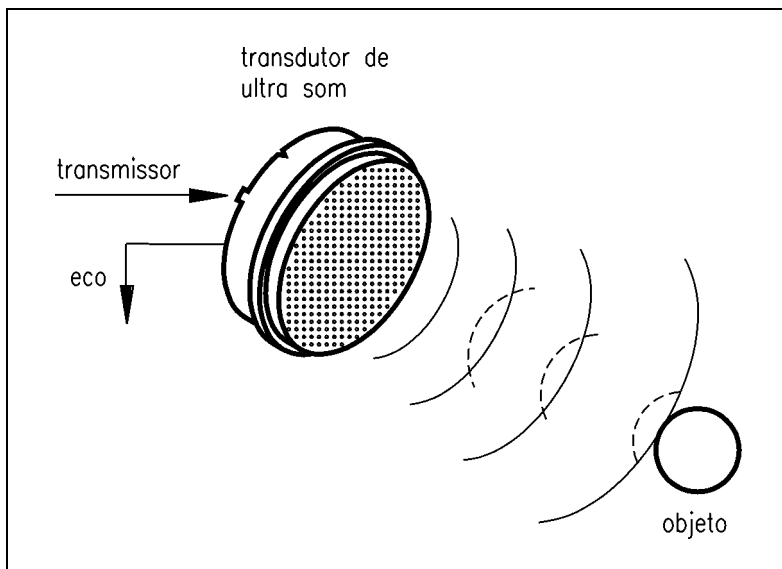
Encoder óptico é um sensor que se vale da interrupção de um feixe de luz, visível ou não, entre um transmissor e um receptor para gerar um trem de pulsos proporcional ao deslocamento do dispositivo que está acoplado ao disco - encoder rotacional - ou à régua - encoder linear.

O encoder linear permite medir um deslocamento ao longo de um eixo; o encoder rotacional proporciona a indicação de um deslocamento angular ao redor de um eixo.

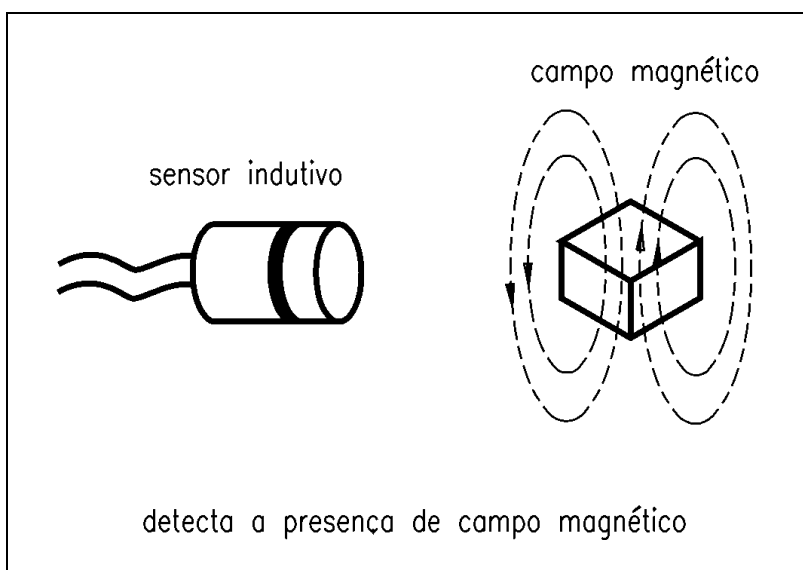


Ultra-som é um sensor eletrostático que emite impulsos periodicamente e capta seus ecos, resultantes do choque das emissões com objetos situados no campo de ação. A distância do objeto é calculada por meio do tempo de atraso do eco em relação ao momento da emissão do sinal.

Veja ilustração abaixo.

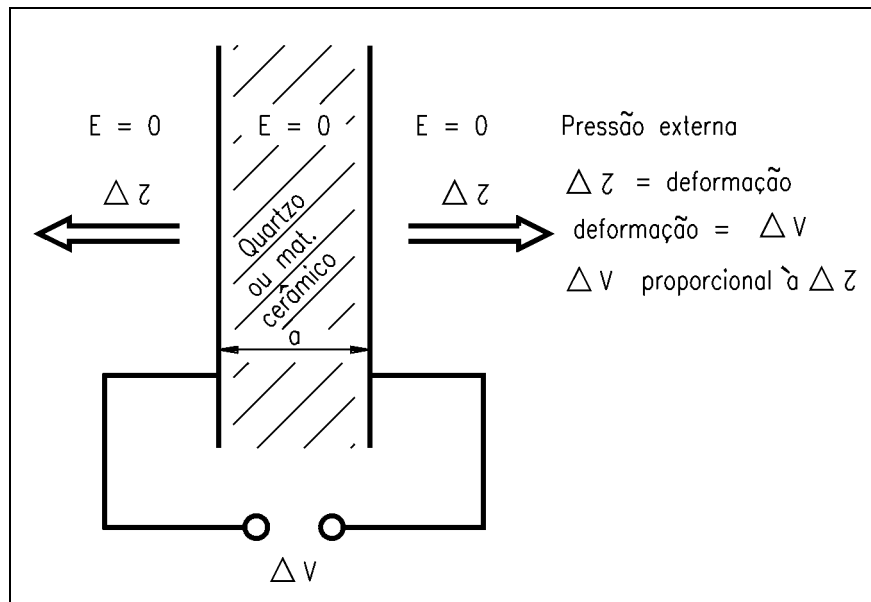


De proximidade (indutivos e capacitivos) são sensores que se valem das leis de indução eletromagnética de cargas para indicar a presença de algum tipo de material que corresponda a certa característica.



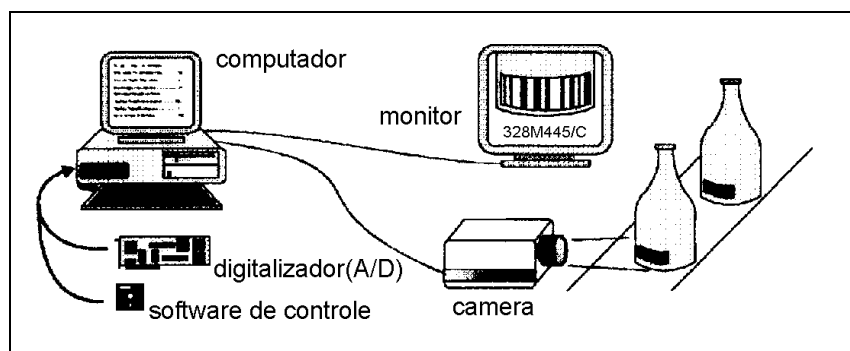
Piezoelétricos são sensores que se valem das características que certos materiais têm de gerar uma tensão elétrica proporcional à deformação física a que são submetidos.

Normalmente são constituídos de lâminas de quartzo ou de material cerâmico, recobertas por um filme metálico condutor. A lâmina, ao ser submetida a uma tensão externa (força), produz uma tensão elétrica.



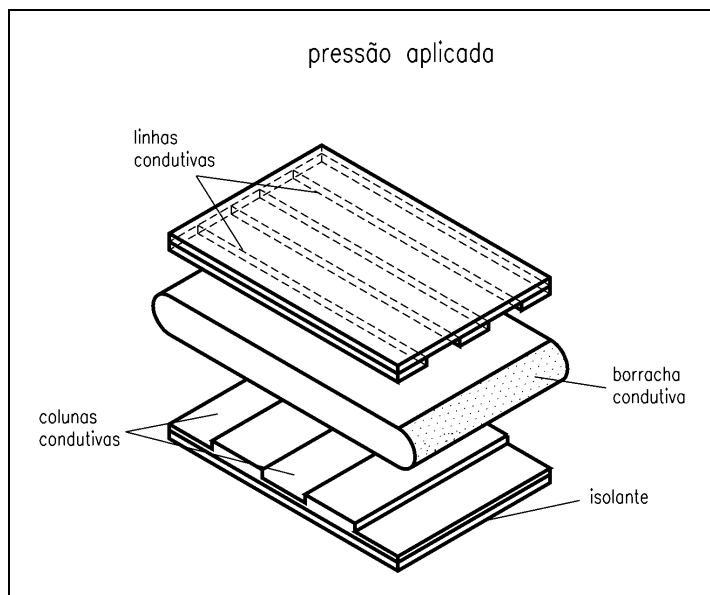
O uso de câmeras de visão artificial no chão das fábricas tem aumentado rapidamente, contribuindo para garantir a qualidade final do produto.

Os sensores do sistema de visão artificial são as câmeras, que captam a imagem. A capacidade que a câmera tem de converter o sinal óptico em sinal elétrico é muito importante nesse tipo de aplicação.



Matriciais (pele artificial) são sensores formados pela associação de sensores analógicos ou digitais em forma de matriz, dispostos lado a lado.

Cabe ressaltar que a resolução é dada pelo espaçamento entre os elementos que compõem a matriz, e que esse tipo de sensor ainda se encontra em fase de desenvolvimento. Portanto, ainda não é totalmente confiável.







# Sensores industriais

Sensores são transdutores, ou seja, conversores de grandezas físicas em sinais elétricos correspondentes. Um robô é equipado com sensores para monitorar a velocidade com que se move, a posição em que se encontra, a localização de uma peça a ser manipulada, as dimensões da peça, a aproximação de um ser humano, e o impacto com um obstáculo.

A robótica não pode prescindir do uso de sensores. Por meio de sensorização se garante que o manipulador está executando o movimento ativado pelo controlador e que foi definido pela programação.

Há diversos tipos de sensores e, de acordo com a grandeza que se deseja monitorar, deve-se empregar o mais adequado. São eles que iremos estudar.

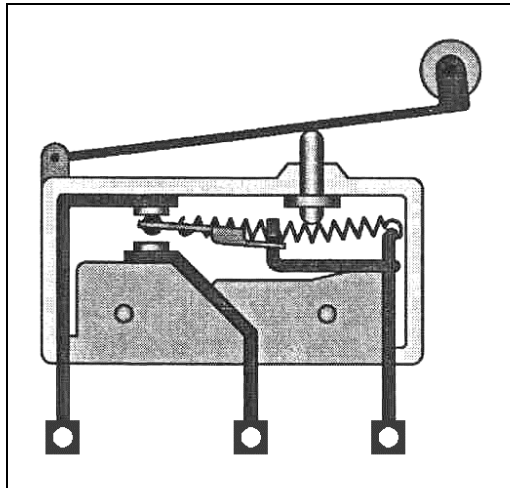
## **Sensor de limite mecânico** (chave de fim de curso)

Através dos detetores de limite detectam-se certas posições finais de partes de máquinas ou outras unidades de trabalho. Ao escolher tais elementos de introdução de sinais, têm-se em mira, a carga mecânica, a segurança de acionamento e a precisão do ponto de comando.

As chaves de fim de curso podem ser de ação Rápida ou Proporcional:

- Nas de ação rápida, a velocidade de acionamento não tem importância, pois a um certo ponto do percurso de acionamento, o contato é instantaneamente acionado;

- Nas proporcionais, abrem-se ou fecham-se os contatos à mesma velocidade com que se efetua o acionamento. Esse acionamento pode ser feito através de uma peça fixa (tucho) ou móvel (roletes).

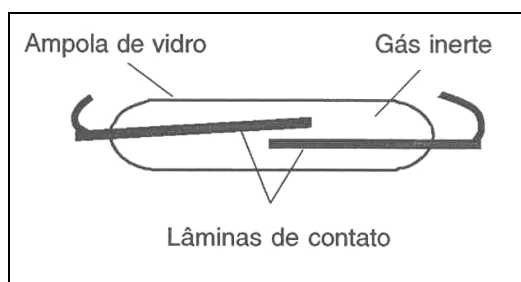


### Sensor de limite por aproximação

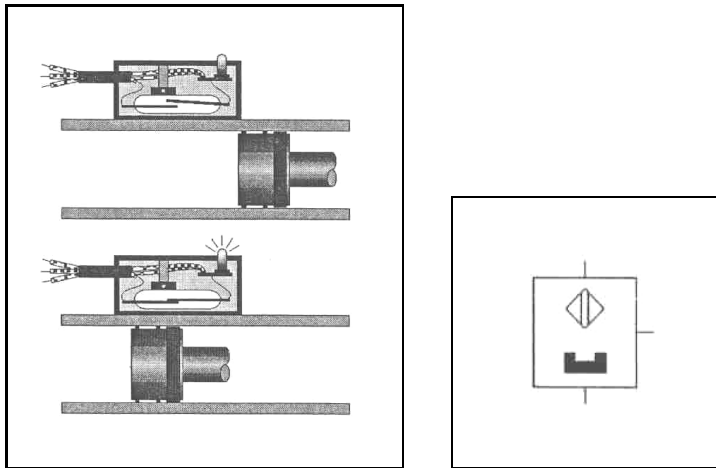
Chave eletrônica semelhante a uma Fim de Curso, que por não possuir nem contatos nem atuadores mecânicos, apresentam precisão milimétrica de acionamento. E por isso podem ser usadas em máquinas/processos em que se exige precisão na repetição do ponto de acionamento e de deslizamento.

### Contato “Reed” (acionamento magnético)

Esse tipo de acionamentos é especialmente vantajoso quando se necessita de um alto número de ciclos, e quando não há espaço suficiente para a montagem de chaves Fim de Curso convencionais, ou quando são solicitados sob condições ambientais adversas (poeira, umidade, etc.). Ao aproximar um ímã do sensor de acionamento magnético, o campo magnético atravessa a ampola, fazendo com que as duas lâminas em seu interior se juntem e estabeleçam contato elétrico.



Ao se remover o ímã, esse contato é imediatamente desfeito.

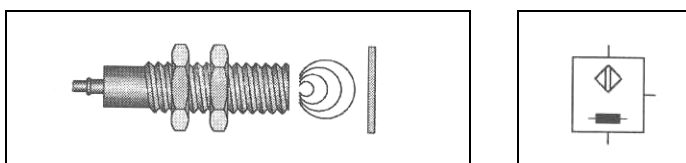


*Símbolo gráfico*

### **Sensor de proximidade indutivo**

Em sistemas automáticos de manufatura é freqüentemente necessária a detecção de partes móveis ou objetos, assim como, tarefas de contagem, que não possibilitam o uso de chaves de Fim de Curso convencionais. Estes sensores requerem contato físico ou proximidade excessiva e não possuem resistência, peso ou dureza suficiente. Nesses casos empregam-se os sensores de proximidade indutivos.

Os sensores de proximidade indutivos somente atuam na presença de metais, efetuando a comutação eletrônica quando um objeto metálico entra dentro de um campo eletromagnético de alta frequência. Podem ser de corrente alternada ou de corrente contínua.

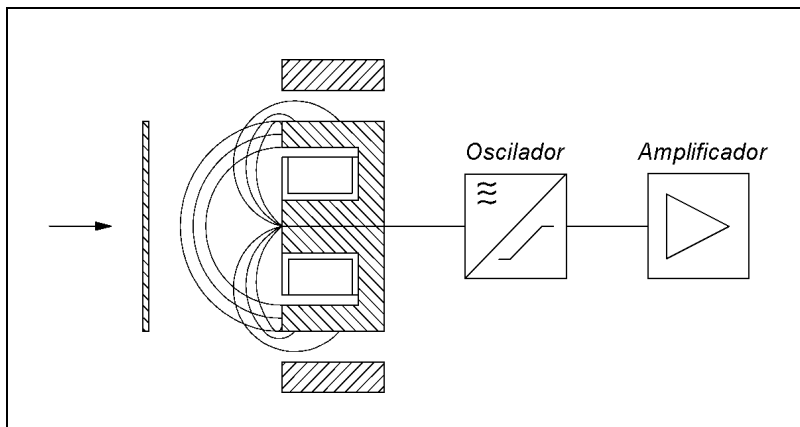


*Símbolo gráfico*

### **Princípio de funcionamento**

Sensores indutivos são sensores que efetuam uma comutação eletrônica quando um objeto metálico entra dentro de um campo eletromagnético de alta frequência produzido por um oscilador eletrônico direcionado para fora do campo do sensor.

A bobina do oscilador situa-se na região denominada face sensível onde estão montados os elementos sensíveis do sensor. Veja representação esquemática a seguir.



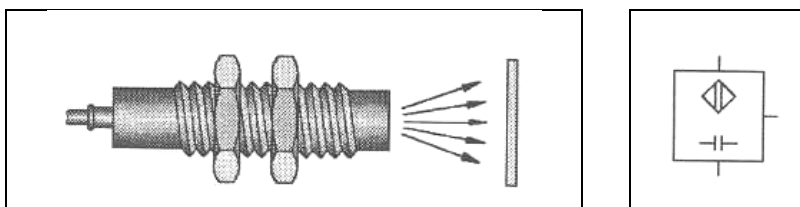
Quando o corpo metálico está diante da face sensível, dentro da faixa denominada distância de comutação, este amortece a oscilação, provocando, através de diversos estágios eletrônicos, a comutação, ou seja, a mudança do estágio lógico do sensor.

**Observação**

Distância de comutação (S) é a distância registrada quando ocorre uma comutação ao se aproximar o atuador padrão (elemento que determina a distância de comutação de um sensor) da face sensível do sensor.

**Sensor de proximidade capacitivo**

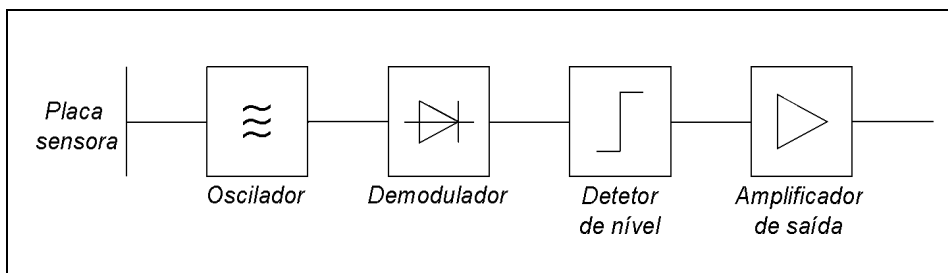
Os sensores de proximidade capacitivos efetuam a comutação quando qualquer tipo de material corta a face sensível do sensor (mesmo que não seja metal). Ex.: vidro, madeira, granulados, pó, líquidos, etc.



*Símbolo gráfico*

Um objeto qualquer, ao ser aproximado da face sensível, altera a capacitância de um capacitor de placas que é colocado na face sensível do sensor. A alteração da capacitância é sentida por um circuito eletrônico que efetuará a comutação eletrônica, ou seja, mudará o estado lógico do sensor.

O diagrama a seguir é a representação esquemática da construção básica deste tipo de sensor.



### Observação

Nos sensores capacitivos (e nos indutivos) o atuador padrão é constituído por uma placa de aço de 1mm de espessura de formato quadrado com um lado igual a três vezes a distância de comutação.

### Distância de comutação efetiva

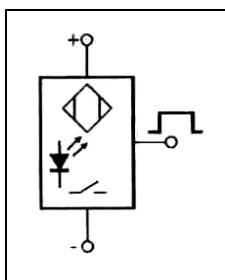
Pelo fato de os sensores capacitivos funcionarem pela alteração da capacitância de um capacitor, a distância efetiva de comutação depende do tipo de material bem como da massa a ser detectada.

Assim, é necessário considerar fatores de redução para diversos tipos de materiais como por exemplo: PVC . AS = 0,4 x SN; madeira . AS = 0,5 x SN; cobre . AS = 1,0 x SN.

Devido a tais características, os sensores capacitivos podem ser utilizados para detectar certos materiais através de outros como por exemplo, água dentro de um tubo de PVC.

### Sensor óptico

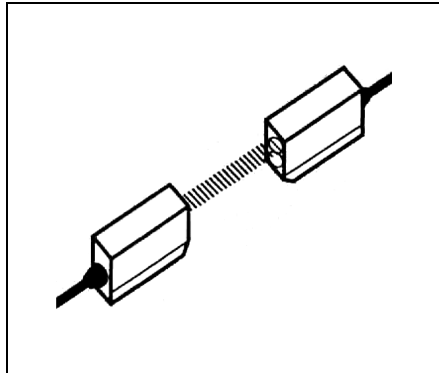
Tem como princípio de funcionamento a emissão e recepção de irradiação infravermelha que detecta qualquer material que reflita, absorva ou desvie a luz.



**Podemos citar três tipos de sensores ópticos:**

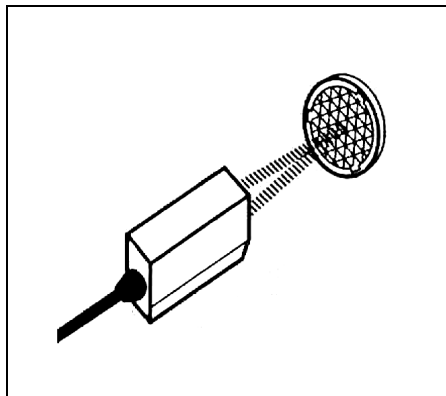
### **Ópticos alinhados**

Formados por um conjunto de dois elementos – emissor e receptor – colocados frente a frente. São acionados quando o feixe de luz for interrompido.



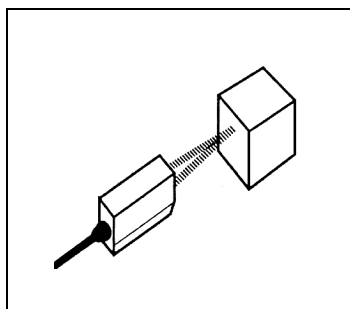
### **Ópticos reflexivos**

São aqueles em que o emissor e receptor estão juntos em uma só unidade. O feixe de luz é direcionado para um espelho prismático, produzindo uma atuação semelhante a do sensor óptico alinhado.



### **Reflexão difusa**

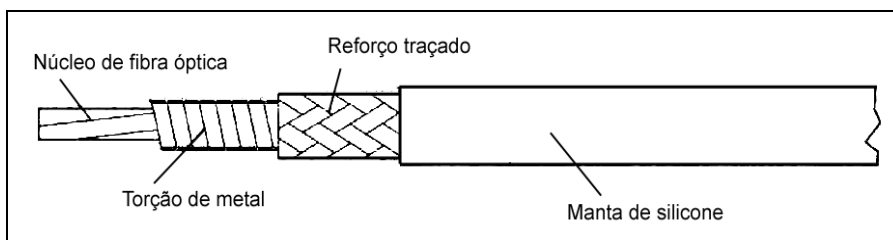
Os raios infravermelhos emitidos pelo emissor refletem sobre a superfície do objeto e retornam ao receptor provocando o seu chaveamento.



### Sensor fotoelétrico com fibra ótica

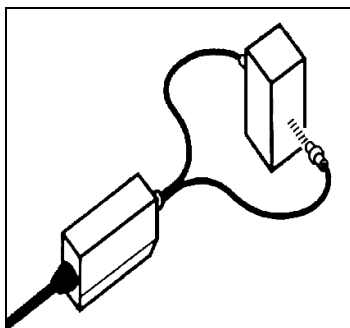
Apresentam a vantagem de detectar objetos com dimensões reduzidas tais como: terminais de componentes eletrônicos, furos de centralização em placas, marcas em materiais de embalagem, etc.

A fibra ótica consiste em um guia de luz formado por um ou mais fios de vidro de alta densidade ótica encapados com material de baixa densidade, o que transforma o conjunto em “condutor” de luz.

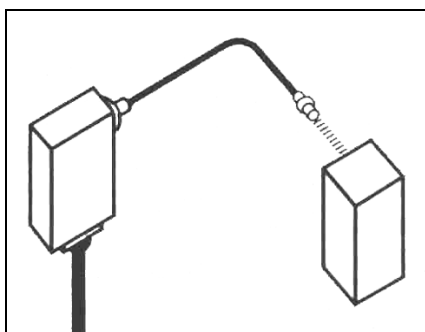


A fibra ótica pode ser aplicada em dois sistemas:

**Por Barreira**, ou seja, a fibra ótica é composta de dois cabos, sendo um o transmissor e outro o receptor de luz. O objeto é detectado quando o feixe de luz é interrompido.



**Por Difusão**, ou seja, o cabo é composto por dois condutores, dos quais um é procedente do transmissor e o outro do receptor de luz. A detecção acontece quando o objeto é aproximado da ponta sensora.

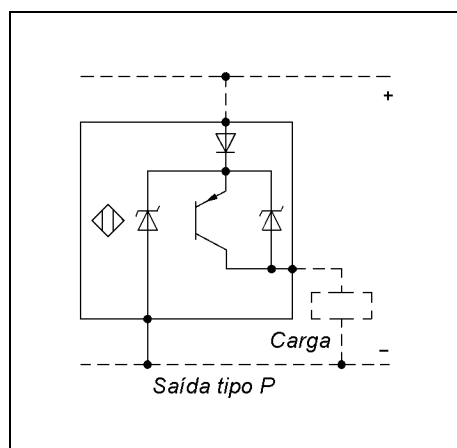


## Configuração elétrica de alimentação e saídas dos sensores

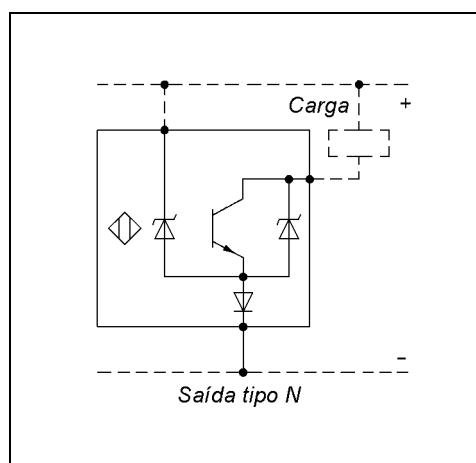
Os sensores podem ser alimentados em CA ou CC. Podem ser interligados em série ou em paralelo.

Os sensores com alimentação CC são classificados quanto ao tipo de saída, ou seja:

- Chave PNP, nesse tipo de saída existe um transistor PNP e a carga é ligada ao pólo negativo.



- Chave NPN, nesse tipo de saída existe um transistor NPN e a carga é ligada ao pólo positivo.



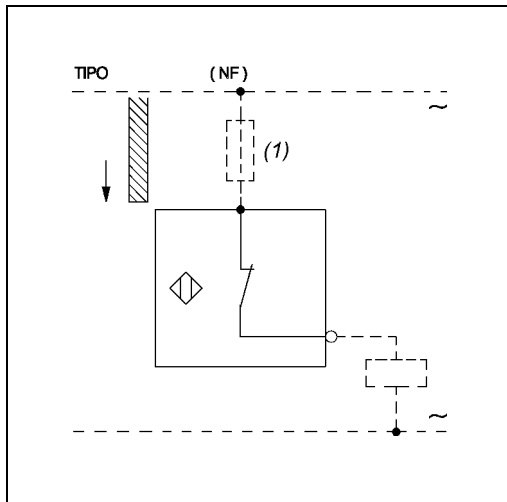
- Chave NPN e PNP, nesse tipo de saída existem dois transistores, um NPN e um PNP. Assim, uma saída é positiva e a outra é negativa.

Os sensores de proximidade com alimentação CA com saída a dois fios devem ser ligados em série com a carga, como uma chave fim de curso mecânica e sua alimentação se dá através da carga.

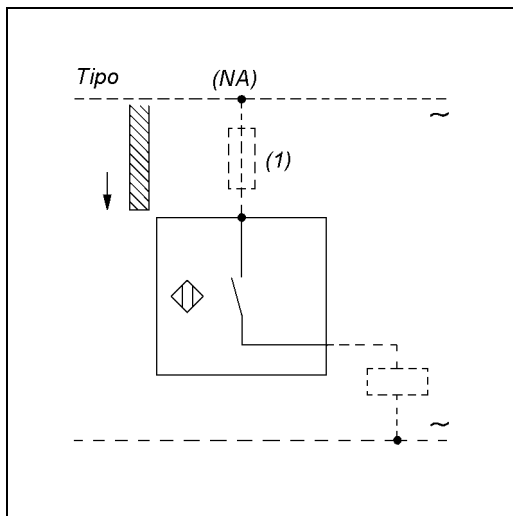


Podem ser de dois tipos:

- Chave NF: nesse tipo de chave, a saída permanece em alta impedância e a carga fica ligada. Ao ser atuada, passa para alta impedância e a carga se desliga.



- Chave NA, nesse tipo de chave, a saída permanece em baixa impedância, a carga fica desligada. Quando é atuada, passa para baixa impedância e liga a carga.



Para a utilização dessas chaves, aconselha-se o emprego de fusível de ação rápida.

### Observação

Uma pequena corrente flui através da carga para alimentar o sensor com alimentação CA quando este está na condição aberto (tiristor bloqueado). Esta corrente, porém, não é suficiente para energizar a carga.

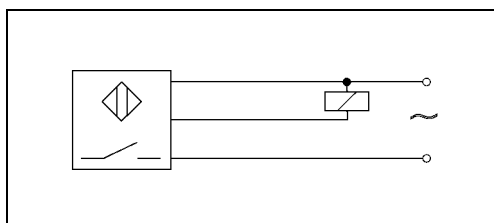
Na condição fechada (tiristor em condução), ocorre uma pequena queda de tensão no sensor. A diferença entre a alimentação e esta queda de tensão fica sobre a carga.

Os sensores com alimentação CA com saída a três ou quatro fios apresenta funcionamento e aplicações semelhantes ao modelo de dois fios. Porém, nesses tipos de sensores a alimentação é feita independentemente da carga.

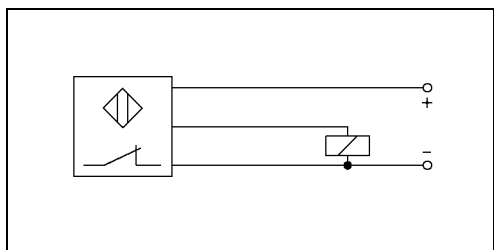
Assim, quando a chave está aberta, a corrente pela carga é nula e quando a chave está fechada, a tensão sobre a carga é praticamente a tensão de alimentação.

As figuras a seguir mostram os três tipos de configuração dos sensores CA de três e quatro fios.

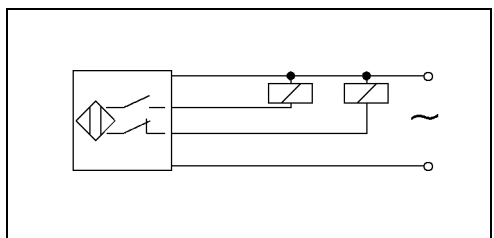
a. Sensor CA com contato NA;



b. Sensor CA com contato NF;



c. Sensor CA com saídas complementares (contatos NA e NF);



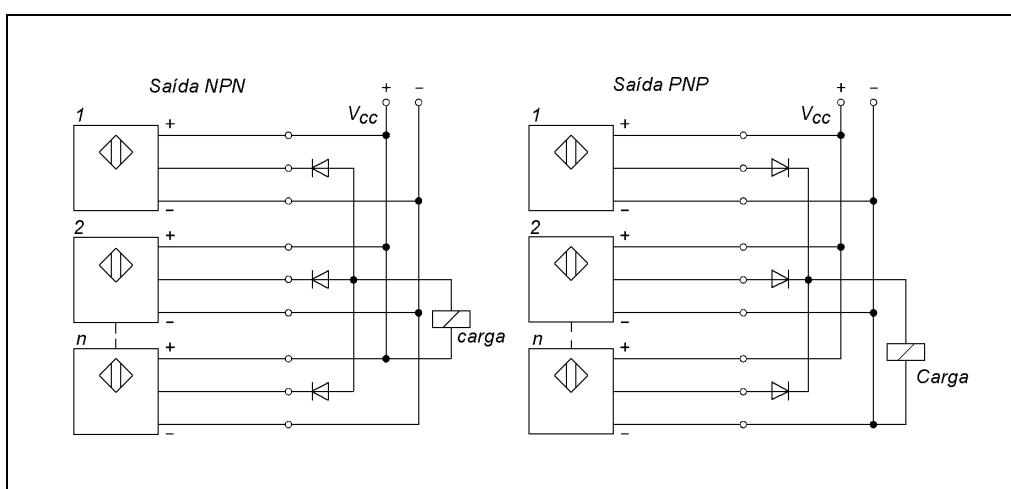
## Método de ligação dos sensores

A ligação dos sensores pode ser de dois tipos: série e paralela.

### Ligação série dos sensores CC

Quando o sensor é acionado, ocorre uma pequena queda de tensão. Assim, a tensão na carga será reduzida de um valor dependente do número de sensores ligados em série.

A figura a seguir mostra a ligação em série de sensores NPN e PNP.



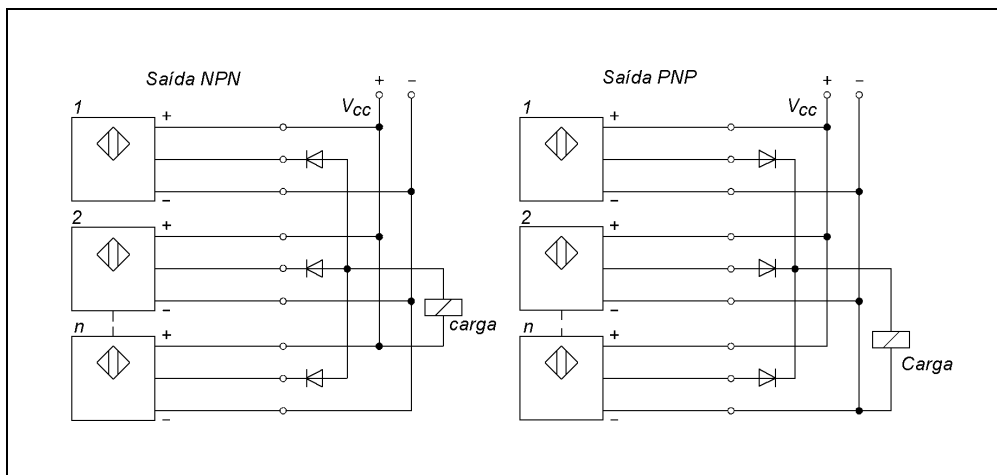
### Observação

O primeiro sensor deve ter capacidade de corrente para alimentar os demais sensores bem como a carga.

### Ligação paralela dos sensores CC

Os sensores CC recebem alimentação independente, por isso não oferecem restrições à ligação em paralelo. O único cuidado a ser tomado é a colocação de um diodo em cada saída para evitar que os sensores sejam realimentados pela saída.

A figura a seguir mostra a ligação em paralelo de sensores NPN e PNP.

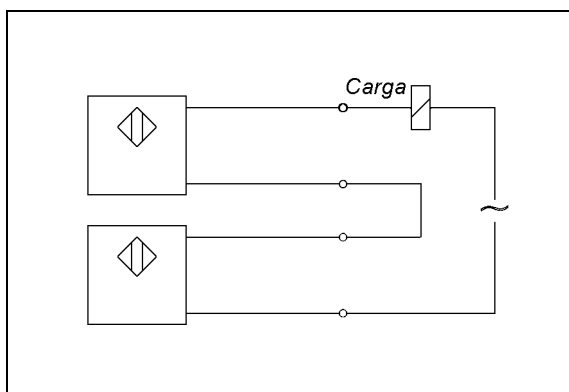


**Ligação série dos sensores CA**

Assim como nos sensores CC, também ocorre uma queda de tensão nos sensores CA.

Assim, só poderão ser ligados em série dois ou três desse tipo de sensores.

A figura a seguir mostra a representação esquemática desse tipo de ligação para sensores CA de dois, três ou quatro fios.

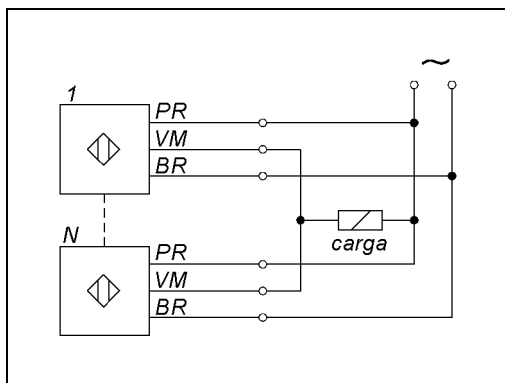


**Observação**

Não é aconselhável a ligação de sensores CA de dois fios em paralelo. Quando isso se tornar necessário, deve-se utilizar os sensores de três ou quatro fios.

### Ligação em paralelo de sensores AC de três ou quatro fios

Os sensores AC de três ou quatro fios recebem alimentação independente, por isso não oferecem restrições para ligação em paralelo. Veja representação esquemática a seguir.

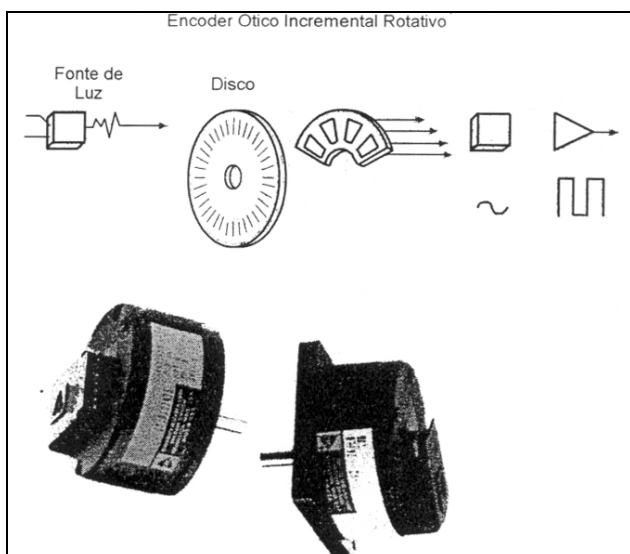


### Encoder linear e rotativo

Os encoders são dispositivos usados para servoposicionamento dos eixos do robô. São eles que fornecem os dados de posição para o controle de acionamento dos motores.

Um encoder é um dispositivo eletro-mecânico que pode monitorar movimentos ou posições.

Um encoder típico usa sensores óticos para fornecer uma série de pulsos que são traduzidos em movimento, posição ou direção.



O disco do diagrama é bem fino e um LED fixo é montado para que sua luz seja continuamente focada através das fendas do disco. Um fototransistor é montado do outro lado do disco para detectar a luz do LED. O disco é montado no eixo do motor ou do dispositivo que terá sua posição medida. Quando o eixo girar o disco girará também. A luz do LED focada no fototransistor irá produzir um trem-de-pulsos.

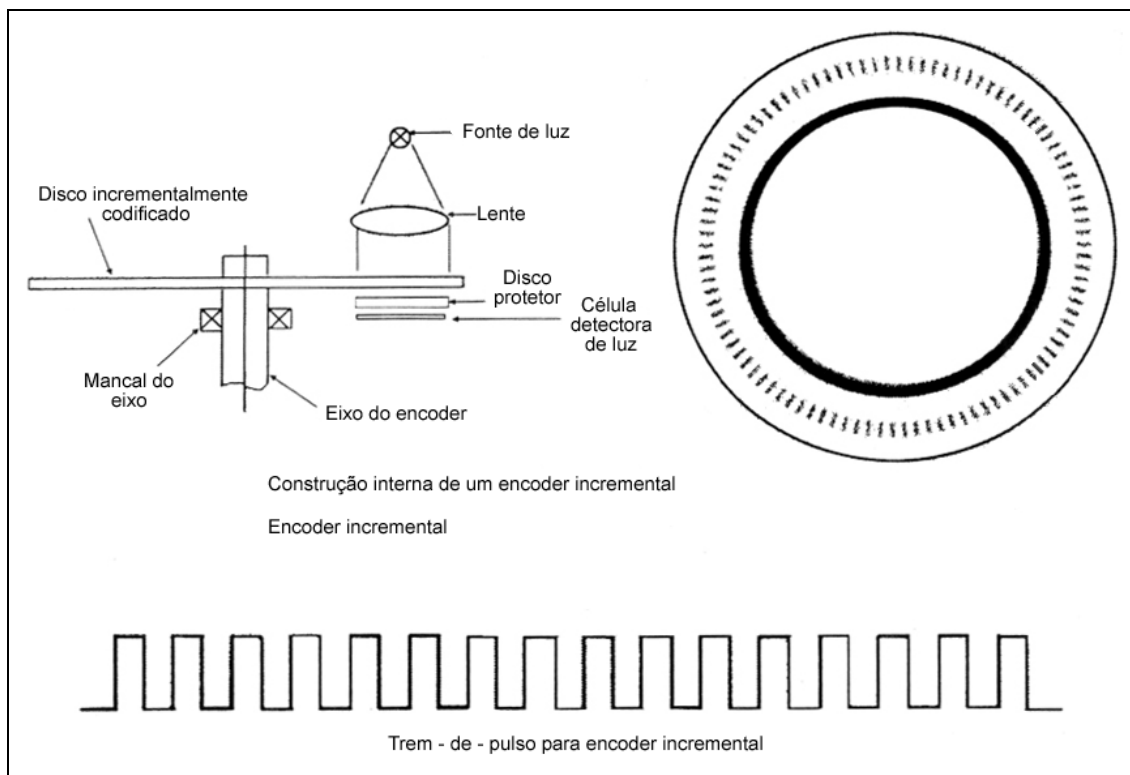
Nesse tipo de encoder, utilizado desde as primeiras aplicações, o tamanho das fendas no disco metálico limitou a precisão que poderia ser obtida. Se mais fendas fossem abertas no disco, a resolução do encoder aumentaria, mas ele se tornaria muito frágil para uso industrial. Os modernos discos de encoder são feitos de vidro com segmentos opacos (barras) gravados neles.

Assim que o disco do encoder gira, os segmentos opacos bloqueiam a luz e, onde o vidro é limpo, a luz passa fornecendo um trem-de-pulsos similar ao disco de encoder que possui furos. Encoders típicos de vidro possuem de 100 a 6.000 segmentos. Isto significa que estes encoders podem fornecer  $3,6^\circ$  de resolução, para um encoder de 100 segmentos, a  $0,06^\circ$  de resolução para um encoder com 6.000 segmentos.

Se o eixo do encoder é conectado a um eixo de acionamento de um motor que por sua vez é conectado a um fuso de esferas ou uma engrenagem de redução, o número de graus de resolução pode ser convertido em posição linear.

O segundo trem-de-pulsos é desenvolvido neste tipo de encoder colocando-se uma segunda fonte de luz e um segundo sensor a um ângulo diferente do primeiro set. Como a posição da segunda fonte de luz é diferente da primeira, o segundo trem-de-pulsos será deslocado do primeiro como se existissem dois sets de furos. Isto permite ao disco do encoder fornecer ambas informações de incremento e de rotação com um único set de barras opacas gravadas.

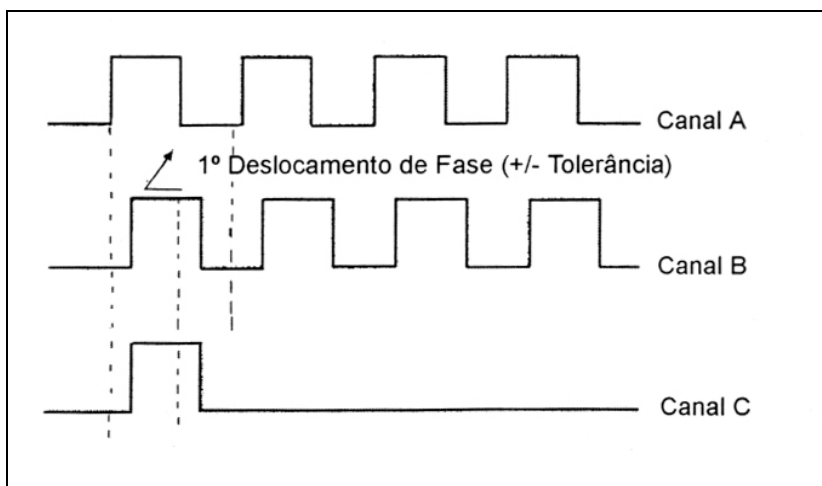
O segundo trem-de-pulsos é usado junto com o primeiro para determinar a direção de rotação para o disco de encoder.



### Encoder rotativo incremental

Um encoder com um único set de pulsos (canal) não seria útil, pois ele não seria capaz de indicar a direção de rotação.

A maioria dos encoders incrementais possui um segundo set de pulsos que é defasado do primeiro set de pulsos (canais A e B); além disso, ele gera um pulso adicional para indicar cada vez que o encoder fez uma volta completa (canal C).



Uma vez que os dois sets de pulso são gerados defasados, é possível determinar em que direção o eixo está girando através da quantidade de deslocamento de fase entre o primeiro e o segundo set de pulsos. O pulso gerado a cada revolução completa do encoder é também chamado **pulso de comando**. Ele é usado para contar as voltas completadas pelo eixo onde o encoder estiver conectado.

Já que um encoder incremental somente fornece trens-de-pulsos, um **home switch** deve ser usado com este tipo de encoder para garantir que o sistema seja referenciado para uma posição de origem: o atual **home position** (ou ponto de referência).

### Encoder rotativo absoluto

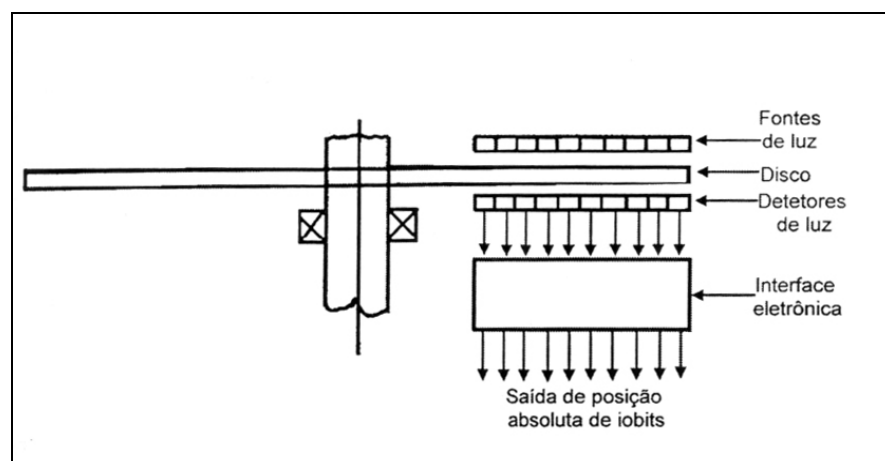
Uma das maiores desvantagens do encoder incremental é que o número de pulsos que é contado é armazenado em um buffer ou contador externo. Se uma falta de energia ocorre, a contagem será perdida.

Isto significa que se uma máquina com um encoder tem sua alimentação elétrica interrompida à noite ou para manutenção, o encoder não mais saberá sua exata posição quando a energia for restaurada.

O encoder necessita de um switch de referência (*home position switch* ou *home detection*) para indicar a posição correta da máquina.

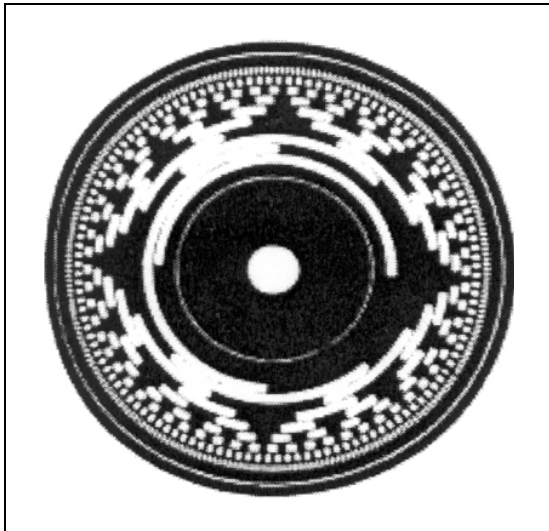
O encoder incremental usa uma rotina de referência (ou *home routine*) que força o motor a se mover até que um switch seja acionado, quando o buffer ou contador é zerado e o sistema sabe onde está com relação a pontos fixos de posição.

O **encoder absoluto** foi projetado para corrigir esse problema de tal modo que a máquina sempre saberá sua posição.





Este tipo de encoder possui segmentos opacos e transparentes como o encoder incremental. Estes segmentos formam múltiplos grupos em círculos concêntricos no disco de encoder semelhante a um alvo.



Os círculos concêntricos começam no meio do disco do encoder e à medida que se dirige de dentro para fora, cada círculo passa a ter o dobro de número de segmentos que o círculo interno anterior. O primeiro anel, que é o mais interno, tem um segmento opaco e outro transparente.

O segundo anel tem dois segmentos opacos e dois transparentes, o terceiro tem quatro de cada segmento e assim por diante. Se o encoder tem 10 anéis, seu anel mais externo terá 512 segmentos, se forem 16 anéis terá 32.767 segmentos.

$2^n$  = no. de segmentos ( $n$  = N.º. de anéis)

Desde que cada anel do encoder absoluto tem o dobro do número de segmentos do anel anterior, os valores formam números para um sistema de contagem binária.

Nesse tipo de encoder haverá uma fonte de luz e um receptor para cada anel no disco do encoder. Isso significa que o encoder com 10 anéis tem 10 sets de fontes luminosas e receptores e o encoder com 16 anéis também 16 fontes de luz e receptores.

A vantagem do encoder absoluto é que ele pode fazer a contagem decrescente de modo que o disco faça uma revolução durante o trajeto completo da máquina. Se o comprimento do trajeto da máquina é 200mm e o encoder tem 16 bits de resolução, a resolução será  $200/65.536$ , que é 0,00305mm.

Se o trajeto para a máquina é maior, por exemplo, 200cm, usaremos um encoder para cobrir cada centímetro do trajeto e um segundo para cobrir posições dentro de 1cm. Isto significa que um encoder contará uma volta completa para a distância de 200cm enquanto o outro contará uma volta completa para a distância de 1cm.

Uma vez que o encoder absoluto produz somente um número distinto ou código binário padrão para cada posição dentro de seu range, ele sabe onde estará em cada ponto entre os pontos extremos de seu trajeto. Por isso, não necessitará ser deslocado para o *home position* da máquina toda vez que a energia elétrica for desligada.

### **Encoder linear**

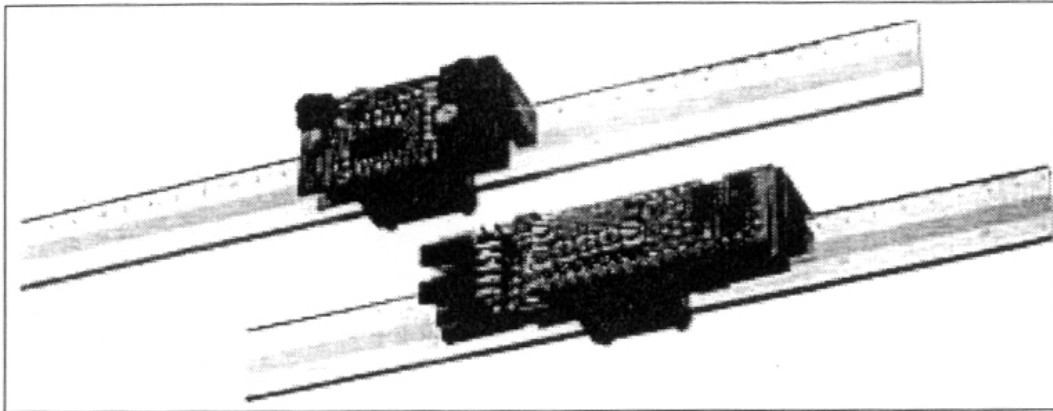
Este tipo de encoder tem operação similar ao encoder absoluto rotativo. O encoder linear tem duas peças idênticas de vidro retangular que são gravadas com segmentos opacos e transparentes.

Uma das peças de vidro é fixada e a outra se move por um braço deslizante que é preso à parte móvel de uma máquina ou robô. Quando a máquina ou robô se move, o braço move a peça deslizante de vidro em frente da peça fixa.

A cada ponto ao longo de seu movimento, os segmentos opacos e transparentes de vidro criarão um único padrão de luz (segmentos on/off) que serão decodificados em um número binário que indicará a posição da parte móvel da máquina ou robô.

A principal vantagem desse tipo de encoder é que o tamanho das placas de vidro será o mesmo da distância total do trajeto da máquina. Isso garante que a máquina saberá exatamente onde estará a cada ponto ao longo de sua trajetória, mesmo que sua alimentação elétrica seja descontínua.

A figura abaixo mostra um encoder que tem resolução abaixo de 0,0000001 in ou 0,1 micron.



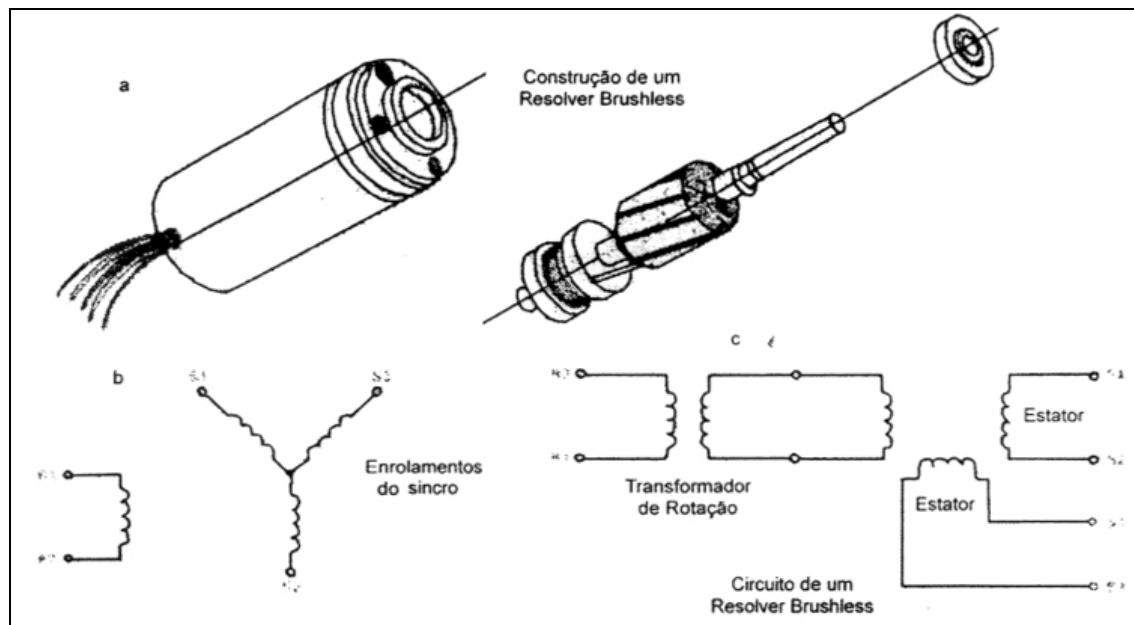
Por esta figura, se pode observar que esse tipo de encoder é projetado mais especificamente para trajetos lineares do que para trajetos rotativos.

Estes encoders são necessários para usinagem de precisão, solda ou aplicações que usem lasers.

### **Resolver**

Um **resolver** é um transdutor que usa um enrolamento de estator e um de rotor para produzir formas de onda para medir o ângulo de um eixo.

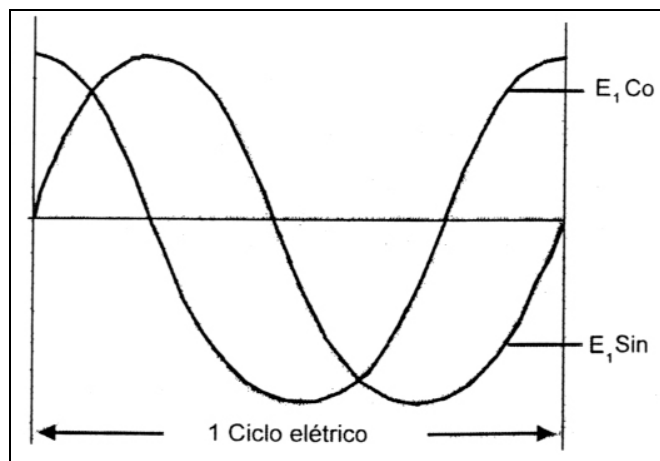
O termo genérico para todos estes tipos de transdutores é síncro.



A figura mostra em (a) um exemplo de um resolver com o rotor removido do estator. Em (b) podemos ver um estator que usa três enrolamentos conectados em Y.

Em (c), vemos um estator que usa dois enrolamentos montados com **90°** de diferença um do outro. Quando um transdutor usa três bobinas conectadas em Y, é geralmente denominado síncro; quando o estator tem dois enrolamentos é geralmente denominado resolver.

Na operação do resolver, o rotor é excitado com uma tensão **AC**. O estator e o rotor funcionarão como um gerador e uma tensão será produzida entre os enrolamentos S<sub>1</sub> e S<sub>3</sub> e outra tensão, defasada de 90°, será produzida entre os enrolamentos S<sub>2</sub> e S<sub>4</sub>.



Cada forma de onda representa uma revolução completa do eixo do rotor (360°)

Uma das primeiras aplicações de resolveres foi para indicar o posicionamento de canhões em destróieres. Nesses primeiros resolveres, a soma de duas tensões era enviada a um amplificador cuja saída era conectada diretamente ao motor.

Nessa configuração, uma tensão de *set point* também era enviada ao amplificador ativando o motor que começaria a movimentar as armas. Isso giraria o eixo do resolver até que a sua tensão de saída fornecesse uma quantidade de tensão igual a do *set point*.

Desde que a tensão de *set point* e a tensão do resolver estivessem fora de fase, as duas tensões se cancelariam quando fossem iguais o que significaria que a tensão resultante enviada ao motor seria zero e o motor pararia de se mover. Foi importante também nessas primeiras aplicações que o suporte (plataforma) do canhão pudesse fazer somente uma revolução.

Esses primeiros resolveres não foram muito úteis, sem modificações, em aplicações onde o eixo do motor dava várias voltas.

A primeira inovação tecnológica incorporada aos resolveres permitiu sua utilização em sistemas que dão múltiplas voltas. Um resolver moderno pode determinar a posição do rotor dentro de um ângulo qualquer em uma revolução.

Para determinar a posição de um eixo do motor o resolver deve ser preso a ele diretamente ou através de um conjunto de engrenagens. Quando engrenagens são usadas, um resolver menos preciso e um mais preciso podem ser usados para determinar o posicionamento do eixo em qualquer lugar ao longo do movimento inteiro.

O encoder menos preciso é montado (engrenado) para fazer somente uma revolução sobre o range inteiro do trajeto e o resolver mais preciso é engrenado para fazer uma revolução a cada 200cm, por exemplo.

Resolveres são tipicamente usados em aplicações robóticas e máquinas-ferramenta onde a posição do eixo de um robô ou de uma máquina deve ser determinada continuamente.

Um outro avanço na tecnologia de resolveres ocorreu quando amplificadores operacionais (AO) se tornaram mais refinados.

O AO tem a capacidade de comparar a tensão entre duas formas de onda dos estatores e determinar a posição exata do eixo de rotação dentro de 0,001 graus.

O AO pode também ser usado para detectar se a forma de uma onda está adiantada ou atrasada com relação à outra. Isto indica se a rotação do eixo está no sentido horário ou anti-horário.

Problemas com um resolver são simples de serem solucionados porque ele atua como um gerador e seus enrolamentos como um transformador.

Um problema comum é o rompimento de fios dos enrolamentos. O teste mais simples para o resolver é aplicar uma tensão de excitação CA nos terminais  $R_2$  e  $R_4$  do rotor. Se a tensão de excitação estiver presente, a tensão deve estar presente entre os terminais  $S_1 - S_3$  e  $S_2 - S_4$  do estator porque a relação entre os enrolamentos do rotor e os do estator é essencialmente a mesma entre os enrolamentos do primário e do secundário de um transformador.

Esta relação estará presente se o eixo do rotor estiver girando ou não. Quando o resolver está girando, a forma de onda da tensão de estator será uma senóide, como a de um alternador CA, que pode ser medida em um osciloscópio.

Se uma tensão de excitação estiver presente mas uma ou ambas as tensões do estator não estiverem presentes, os enrolamentos do rotor ou do estator estarão abertos. Pode-se desconectar o resolver e testar ambos os enrolamentos do rotor ou do estator quanto a sua continuidade. Se qualquer um dos enrolamentos estiver aberto, o resolver deve ser substituído.

O segundo tipo de problema que ocorre com o resolver é em função dos fios que ligam os enrolamentos do estator e do rotor ao circuito de controle do resolver que podem estar abertos.

Vistos que o resolver deve ser montado próximo ao eixo do motor e o circuito de detecção é mostrado próximo aos controles, a quantidade de fios entre os dois pode ser significativa e podem ter dois ou mais terminais de conexão entre eles.

Os fios podem se soltar em qualquer um destes conectores ou eles podem estar interrompidos em algum ponto entre eles. Deve-se determinar se a fiação tem algum

problema pelo teste da tensão de excitação na fonte (circuito de controle de resolver) e no resolver.

Se houver tensão na saída do circuito, um dos dois fios pode estar interrompido. O circuito do estator pode ser testado de maneira similar, exceto se a tensão for desenvolvida no estator e ele usa os fios para chegar ao controlador.

Nesse caso a tensão deve ser testada no estator e então no controlador. Se a tensão estiver presente no estator, mas não no controlador, há indícios de que o fio esteja interrompido.





# Sensores fotoelétricos

Para a área de eletricidade e eletrônica, o termo sensor se aplica a todo o dispositivo ou componente capaz de transformar uma grandeza física (ou sua variação) em uma grandeza elétrica.

Assim, por exemplo, é denominada de sensor de luminosidade um componente capaz de transformar uma variação de intensidade luminosa em variação de resistência elétrica. Existem realmente componentes eletrônicos que são sensíveis à luz. Estes componentes são ditos “Fotoelétricos ou Fotossensíveis”.

Sendo sensíveis à luz, os componentes fotoelétricos podem ser utilizados como sensores de:

- Existência ou não-existência de luz:
  - utilizando principalmente para a contagem de objetos;
- Nível de iluminamento:
  - utilizado em fotômetro para os processos fotográficos;
- Variação de iluminamento:
  - utilizado, por exemplo, para o controle automático da iluminação em rodovias, para a detecção de objetos pela sua cor, etc...

Entre os componentes fotoelétricos citam-se:

- LDR;
- Fotodiodo;
- Fototransistor.

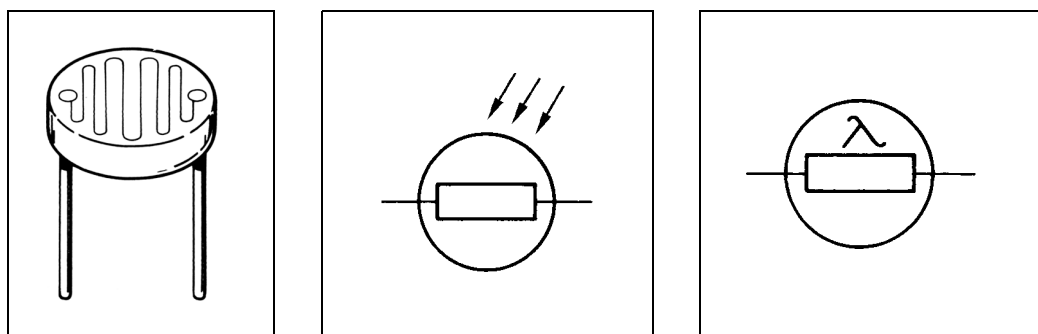
Onde:

O LDR ou resistor depende da luz (do inglês *Light Dependent Resistor*) é um componente constituído à base de material semicondutor que se caracteriza por apresentar uma resistência variável em função da intensidade da luz incidente.

LDR, Resistência elétrica dependente da intensidade da luz incandescente.

Talvez por ser um dos componentes sensíveis à luz mais antigos, o LDR é conhecido por uma série de designações, dentre as quais mais usuais são: fotoresistor, fotocélula, célula fotoelétrica.

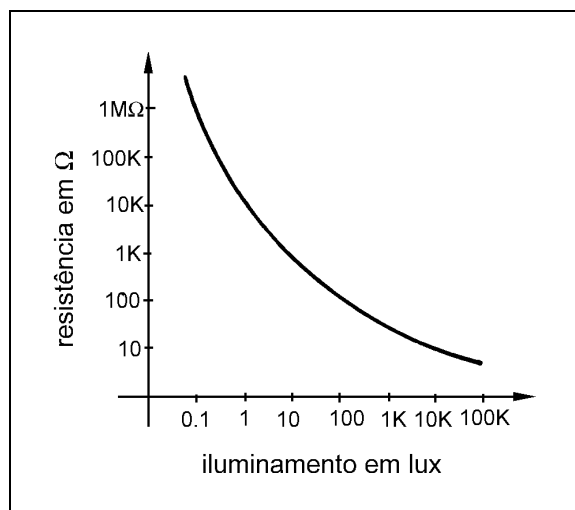
As figuras a seguir mostram o formato construtivo típico de uma fotocélula e os símbolos usados usualmente para representá-la.



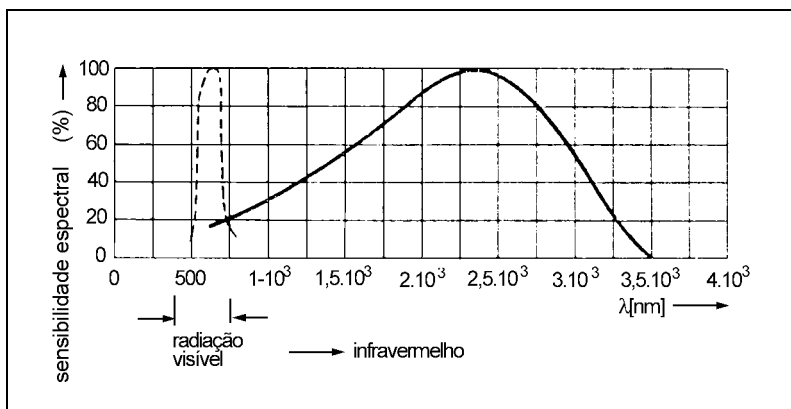
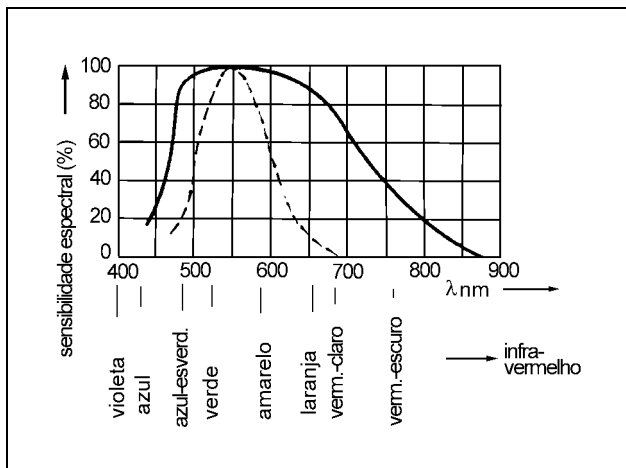
Os LDRs apresentam uma resistência elevada quando colocados no escuro e sofrem uma redução de resistência a medida que a incidência de luz sobre o componente aumenta.

Os valores de resistência dos LDR no escuro e no claro variam de tipo para tipo, com variações típicas que vão desde alguns Megaohms no escuro até algumas centenas de ohms quando em ambientes com grande intensidade de luz.

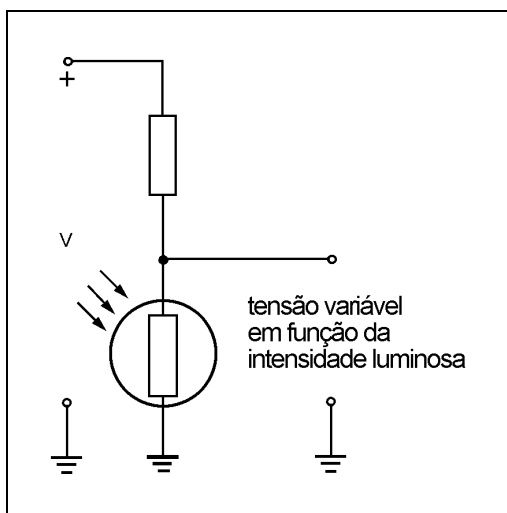
Um aspecto importante é que a variação de resistência de um LDR em função da luz não é linear, conforme mostra a curva característica típica da figura a seguir.



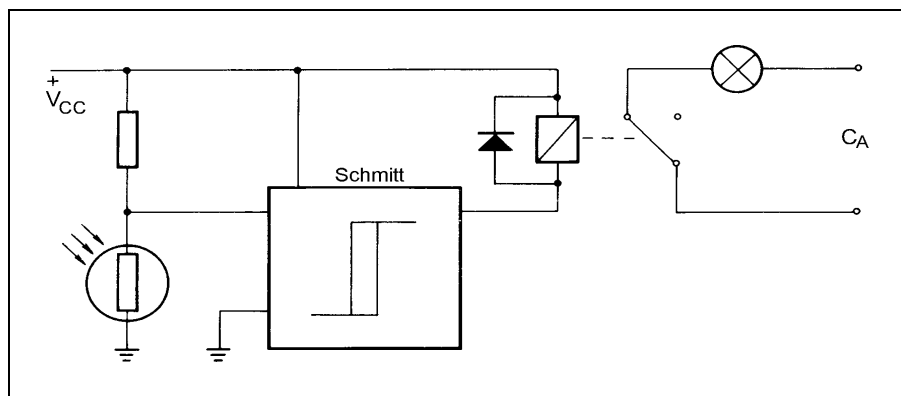
As figuras a seguir mostram as curvas de sensibilidade espectral dos fotoresistores de sulfeto de cádmio e de sulfeto de chumbo, comparando com a faixa de radiação visível (curvas tracejadas).



O LDR pode ser utilizado em um divisor de tensão de forma que o resultado seria uma tensão de saída dependente da intensidade luminosa.



Este divisor associado, por exemplo, a um disparador Schmitt poderia ser utilizado para comandar uma lâmpada que só acenderia à noite.



Embora a tensão de entrada varie vagarosamente à medida que o ambiente escurece ou clareia, o disparador Schmitt se encarrega de chavear corretamente o relé que aciona a lâmpada.

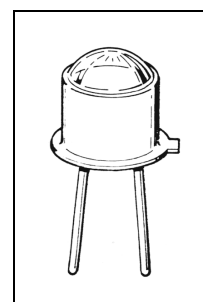
Uma das vantagens do LDR em relação aos outros sensores sensíveis à luz reside no fato de que, apesar de ser semicondutor, não tem junções PN de forma que pode ser utilizado em CA.

Outra vantagem é a sua sensibilidade que a torna particularmente interessante em locais onde o nível de iluminação é baixo. Sua maior desvantagem reside no tempo de resposta.

O LDR apresenta um tipo de “memória luminosa” que retarda a variação de resistência do componente sempre que a célula estiver exposta a uma certa quantidade de luz por algum tempo. Isto limita a faixa de funcionamento em frequência a, no máximo, algumas centenas de Hertz.

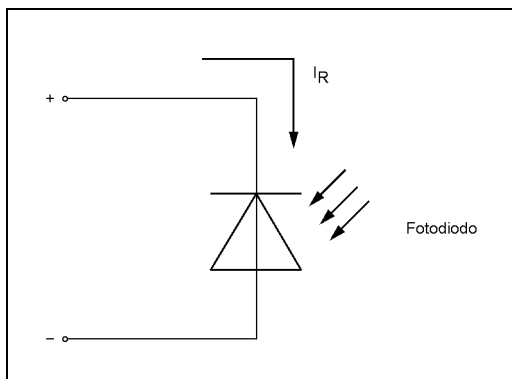
## Fotodiodo

É um diodo fabricado em encapsulamento especial que permita a incidência de luz sobre a junção PN. Geralmente o encapsulamento é metálico e possui uma lente para a concentração da luz sobre a junção.



A indicação do anodo ou catodo varia de tipo para tipo, de forma que a maneira mais prática de identificar os terminais é através do catálogo do fabricante ou de teste com o multímetro.

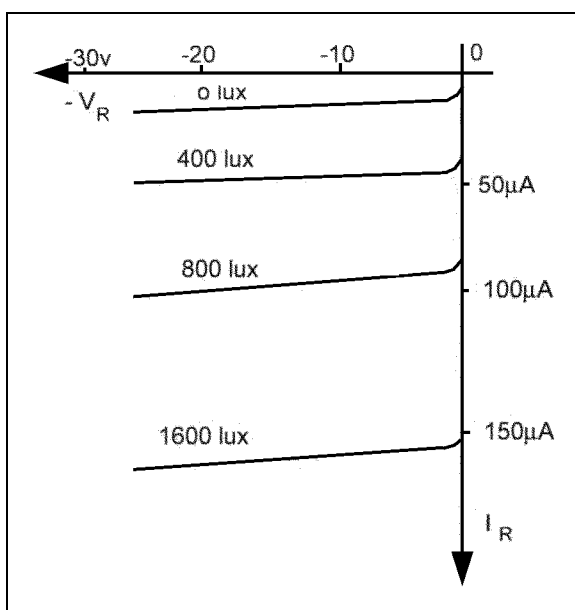
O fotodiodo é utilizado normalmente com polarização inversa. Nesta situação a corrente circulante é uma corrente de fuga.



A aplicação de luz no fotodiodo provoca a liberação de portadores nos cristais, ocasionando um aumento na corrente reversa.

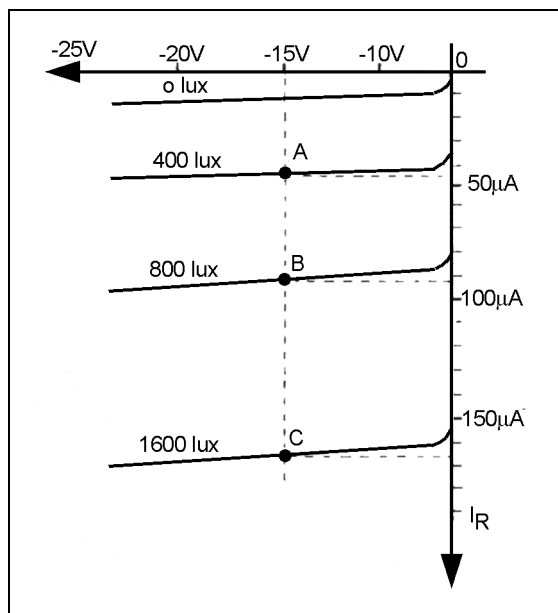
Fotodiodo: Corrente reversa proporcional a intensidade luminosa incidente no componente.

A figura a seguir mostra a curva característica típica de um fotodiodo (apenas na região de utilização com polarização inversa).



Nesta curva característica está representada a corrente circulante no fotodiodo sem a presença de luz. Esta corrente, denominada de corrente de escuro, é muito pequena, mas sempre existe.

Para verificar o comportamento do fotodiodo perante a variação da intensidade luminosa pode-se traçar uma perpendicular sobre a curva característica, passando por um determinado valor de tensão reversa.

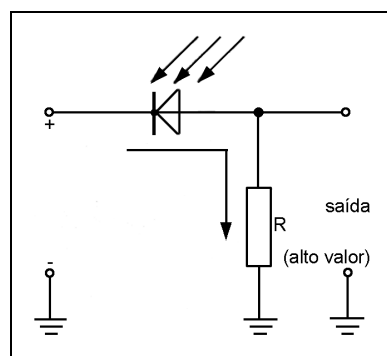


Conforme mostram as linhas tracejadas, a aplicação de uma tensão de 15V reversos resulta em uma corrente reversa de:

- 45μA para 400 lux de intensidade luminosa (ponto A no gráfico).
- 85μA para 800 lux de intensidade luminosa (ponto B).
- 170μA para 1.600 lux de intensidade luminosa (ponto C).

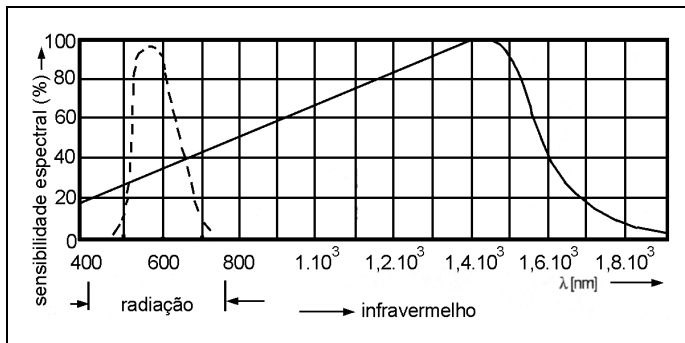
É importante observar que a variação da corrente reversa se situa na faixa dos microampères.

Para que esta pequena variação de corrente possa dar origem a variações de tensão apreciáveis costuma-se utilizar o fotodiodo em série com resistores de valor elevado (na faixa das dezenas a centenas de KΩ).



Um aspecto importante a considerar é que a corrente de fuga também depende da temperatura do diodo, o que pode causar problemas quando um fotodiodo é utilizado em locais onde a variação de temperatura é muito ampla.

A figura a seguir mostra a curva de sensibilidade espectral de um fotodiodo de germânio, comparada com a faixa visível (linha tracejada).



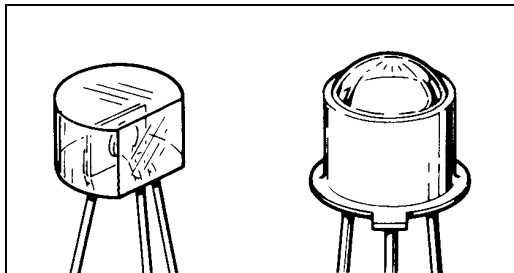
Os fotodiodos têm maior sensibilidade em relação a outros dispositivos optoeletrônicos sendo muito utilizado em aplicações em que a intensidade luminosa seja muito variável e podem alcançar freqüência de corte da ordem de 50KHz.

A maior desvantagem dos fotodiodos reside na pequena corrente de saída, mesmo quando sujeito a uma grande taxa de iluminação.

### Fototransistor

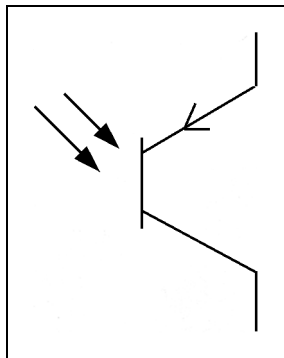
Os fototransistores são transistores que apresentam um encapsulamento que permite a incidência de luz sobre os cristais semicondutores.

A figura a seguir mostra dois tipos de encapsulamento típicos para fototransistores.



Conforme mostra esta figura, a construção e os terminais de um fototransistor são similares a de um transistor convencional.

O símbolo de um fototransistor é o mesmo de um transistor convencional, acrescido das setas que indicam a sensibilidade à luz.



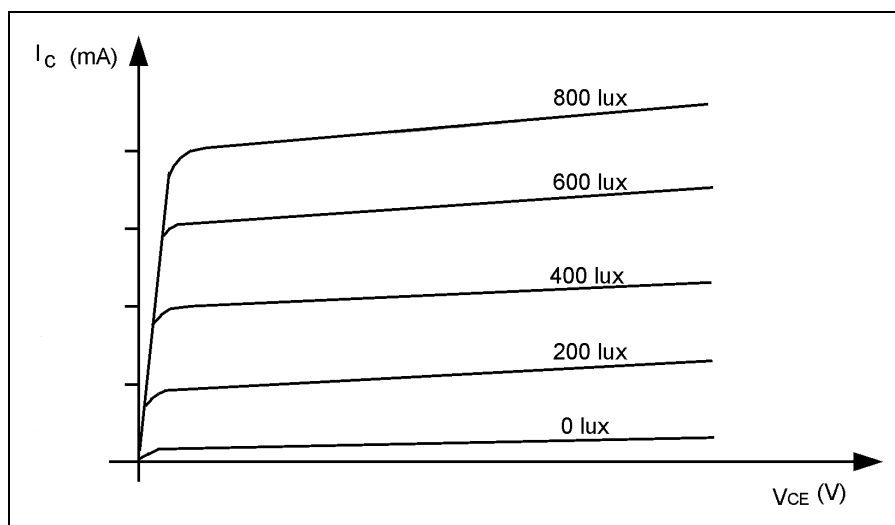
O funcionamento do fototransistor tem como base o fato da junção base-coletor, que sempre é polarizada inversamente, se comportar como um fotodiodo.

A incidência de luz sobre o “fotodiodo base-coletor” dá origem a uma corrente reversa (semelhante a  $I_{CBO}$ ) que é amplificada beta ( $\beta$ ) vezes no coletor.

Esta corrente é proporcional a intensidade luminosa à qual o transistor está sujeito. Portanto, pode-se dizer:

A corrente de coletor do fototransistor é proporcional às variações de intensidade luminosa sobre o componente.

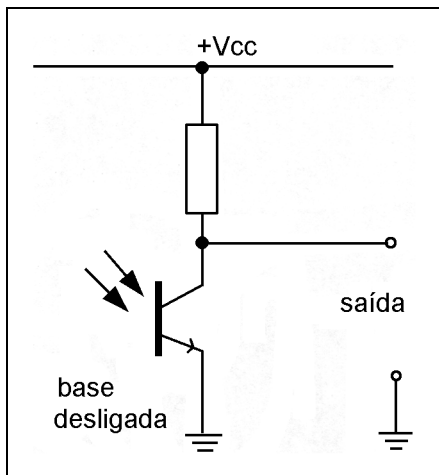
A figura a seguir mostra a curva característica de um fototransistor típico.



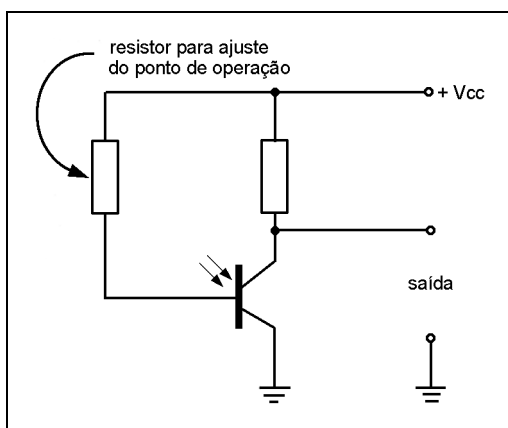


Nestas curvas a corrente de base (dos transistores convencionais) foi substituída pelo iluminamento.

Apesar de possuir o terminal-base como qualquer outro transistor este raramente é utilizado, sendo mais comum a excitação somente através da luz.



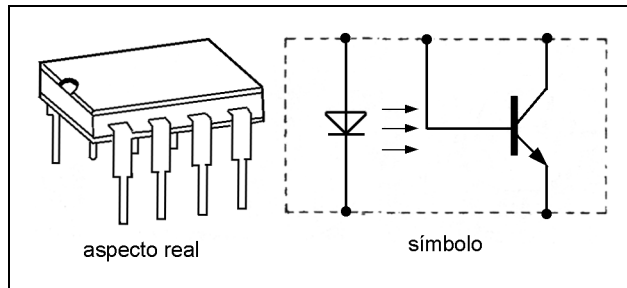
Caso seja necessário, no entanto, alterar a tensão de coletor para um determinado iluminamento, é possível polarizar a base da mesma forma que um transistor convencional.



Este método, contudo, reduz a sensibilidade do circuito. Os fototransistores têm frequência de corte mais baixa que os fotodiodos, situando-se tipicamente em alguns quilohertz.

Existem fototransistores fabricados especialmente para trabalhar em conjunto com diodos emissores de luz (LED). O transistor e o diodo formam um par casado em que o comprimento de onda emitido pelo diodo é o ideal para o funcionamento do fototransistor.

Este tipo de utilização tornou-se tão popular que foram criados os opto-acopladores que são constituídos por um diodo LED e um fototransistor em um encapsulamento tipo circuito integrado.



Devido a alta isolamento elétrica existente entre o LED e o fototransistor (acoplamento apenas por luz), os opto-acopladores são muito utilizados como elo de ligação entre os estágios onde existem CC e CA.

# Sensores de temperatura

## Introdução

O objetivo de se medir e controlar as diversas variáveis físicas em processos industriais é obter produtos de alta qualidade, com melhores condições de rendimento e segurança, a custos compatíveis com as necessidades do mercado consumidor.

Nos diversos segmentos de mercado, sejam estes químicos, petroquímico, siderúrgico, cerâmico, farmacêutico, vidreiro, alimentício, papel e celulose, hidrelétrico, nuclear entre outros, monitorar e acompanhar a variável Temperatura é fundamental para a obtenção do produto final especificado.

## Definição de temperatura e calor

Todas as substâncias são constituídas de pequenas partículas, moléculas e que se encontram em contínuo movimento. Quanto mais rápido o movimento das moléculas, mais quente se apresenta o corpo e quanto mais lento mais frio se apresenta o corpo. Então define-se temperatura como o grau de agitação térmica das moléculas.

Calor é energia em trânsito ou a forma de energia que é transferida através da fronteira de um sistema em virtude da diferença de temperatura.

## Escalas da temperatura

A primeira escala de temperatura foi a de Farenheit em 1714, no qual convencionou 32°F para a temperatura de congelamento de uma mistura entre gelo e amônia e 212°F para a temperatura de ebulição da água. A diferença entre estes pontos foi dividida em 180 partes iguais a qual se deu o nome de grau Farenheit.

Mais tarde, Celsius tomando os mesmos dois pontos, definiu 0°C para o congelamento da água e 100°C para a ebulição da água, ambas à pressão atmosférica, a qual se deu o nome de graus Celsius ou Centígrados.

No princípio de 1800, Thomson (Lord Kelvin) desenvolveu uma escala termodinâmica universal, baseada no coeficiente de expansão de um gás ideal. Kelvin estabeleceu o conceito de Zero Absoluto e a sua escala permanece como padrão para a termometria moderna.

Zero absoluto ou Zero Kelvin é a menor temperatura que um corpo pode alcançar, 0K equivale a -273,15°C.

As equações de conversão das unidades mais usadas na termometria moderna são:

$$^{\circ}\text{C} = ( ^{\circ}\text{F} - 32 ) \cdot 5/9$$

$$^{\circ}\text{F} = 9/5 \cdot ^{\circ}\text{C} + 32$$

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273,15$$

### **Tipos de sensores de temperatura**

Sensores, detetores ou elementos primários de temperatura são transdutores que alteram algumas de suas características físicas ao se equalizar com o meio a ser determinada a temperatura. Como exemplo poderíamos citar a dilatação do mercúrio num termômetro de vidro, a geração de tensão num termopar, a variação de resistência ôhmica num termistor entre outras.

Dos inúmeros tipos de sensores de temperatura existentes, como termômetros de vidro, termômetros bimetalicos, termômetros de gás, termistores, termômetros de quartzo, termopares, termoresistências, termômetros de germânio e outros; os mais utilizados industrialmente são os termopares e as termoresistências.

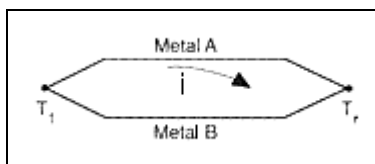
### **Termopares**

Os Termopares são sensores de maior uso industrial para medição de temperatura.

Eles cobrem uma faixa bastante extensa de temperatura que vai de -200 a 2300°C aproximadamente, com uma boa precisão e repetibilidade aceitável, tudo isto a um custo que se comparado com outros tipos de sensores de temperatura são mais econômicos.

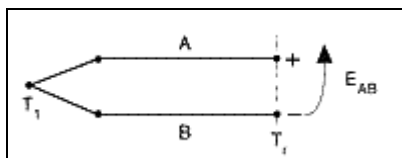
**Teoria termoelétrica**

O fenômeno da termoeletricidade foi descoberto em 1821 por T. J. Seebeck, quando ele notou que em um circuito fechado formado por dois condutores metálicos e distintos A e B, quando submetidos a um diferencial de temperatura entre as suas junções, ocorre uma circulação de corrente elétrica (  $i$  ).



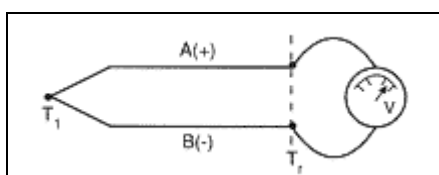
A existência de uma força eletro-motriz (F.E.M.)  $E_{AB}$  no circuito é conhecida como Efeito Seebeck, e este se produz pelo fato de que a densidade de elétrons livres num metal, difere de um condutor para outro e depende da temperatura.

Quando este circuito é interrompido, a tensão do circuito aberto torna-se uma função das temperaturas das junções e da composição dos dois metais.



**Definição de termopar**

O aquecimento de dois metais diferentes com temperaturas diferentes em suas extremidades, gera o aparecimento de uma F.E.M. (da ordem de mV). Este princípio conhecido com efeito Seebeck propiciou a utilização de termopares para medição de temperatura.



Um termopar ou par termométrico consiste de dois condutores metálicos de natureza distinta, na forma de metais puros ou ligas homogêneas. Os fios são soldados em um extremo ao qual se dá o nome de junção de medição; a outra extremidade, junção de referência é levada ao instrumento medidor por onde flui a corrente gerada.

Convencionou-se dizer que o metal A é positivo e B é negativo, pois a tensão e corrente geradas em um termopar são contínuas (cc).

A junção na qual é utilizada para a medição da temperatura é chamada de junção de medição ou “junta quente”. Os pontos de conexão do instrumento medidor é chamado de junta de referência ou “junta fria”

### **Tipos e características dos termopares**

Foram desenvolvidas diversas combinações de pares de ligas metálicas com o intuito de se obter uma alta potência termoelétrica ( $mV^{\circ}C$ ) para que seja detetável pelos instrumentos de medição, aliando-se ainda às características de homogeneidade dos fios, resistência à corrosão, relação razoavelmente linear entre temperatura e tensão entre outros, para que se tenha uma maior vida útil do mesmo.

Podemos dividir os termopares em três grupos:

- Termopares de Base Metálica ou Básicos;
- Termopares Nobres ou a Base de Platina;
- Termopares Novos.

Os termopares de base metálica ou básicos são os termopares de maior uso industrial, em que os fios são de custo relativamente baixo e sua aplicação admite um limite de erro maior.

As nomenclaturas adotadas estão de acordo com as normas IEC 584-2 de julho de 1982.

Abaixo será descrito os principais tipos de termopares de base metálica:

- **Tipo T**
  - **Composição** - Cobre (+) / Cobre-Níquel (-) O fio negativo cobre-níquel é conhecido comercialmente como Constantan.
  - **Faixa de utilização** - -200 a 350°C
  - **Características** - Estes termopares são resistentes a corrosão em atmosferas úmidas e são adequados para medidas de temperaturas abaixo de zero. Seu

uso no ar ou em ambientes oxidantes é limitado a um máximo de 350°C devido a oxidação do fio de cobre. Podem ser usados em atmosferas oxidantes (excesso de oxigênio), redutoras (rica em hidrogênio, monóxido de carbono) e no vácuo; na faixa de -200 a 350°C.

- **Identificação da polaridade** - O cobre (+) é avermelhado e o cobre - níquel (-) não.
- **Aplicação** - Sua maior aplicação está em indústrias de refrigeração e ar condicionado e baixas temperaturas em geral.
- **Tipo J**
  - **Composição** - Ferro (+) / Cobre-Níquel (-) O fio negativo cobre-níquel é conhecido comercialmente como constantan.
  - **Faixa de utilização** - -40 a 750°C
  - **Características** - Estes termopares são adequados par uso no vácuo, em atmosferas oxidantes, redutoras e inertes. A taxa de oxidação do ferro é rápida acima de 540°C e o uso em tubos de proteção é recomendado para dar uma maior vida útil em altas temperaturas. O termopar do tipo **J** não deve ser usado em atmosferas sulfurosas (contém enxofre) acima de 540°C. O uso em temperaturas abaixo de 0°C não é recomendada, devido à rápida ferrugem e quebra do fio de ferro, o torna seu uso em temperaturas negativas menor que o tipo **T**. Devido a dificuldade de obtenção de fios de ferro com alto teor de pureza, o termopar tipo **J** tem custo baixo e é um dos mais utilizados industrialmente.
  - **Identificação da polaridade** - Indústrias em geral em até 750°C.
- **Tipo E**
  - **Composição** - Níquel-Cromo (+) / Cobre-Níquel (-) O fio positivo níquel-cromo é conhecido comercialmente como **Cromel** e o negativo cobre-níquel é conhecido como **Constantan**.
  - **Faixa de utilização** - -200 a 900°C
  - **Características** - Estes termopares podem ser utilizados em atmosferas oxidantes e inertes. Em atmosferas redutoras, alternadamente oxidante e redutora e no vácuo, não devem ser utilizados pois perdem suas características termoelétricas. É adequado para uso em temperaturas abaixo de zero, desde que não esteja sujeito a corrosão em atmosferas úmidas. O termopar tipo **E** é o que apresenta maior maior geração de V/°C do que todos os outros termopares, o que o torna útil na detecção de pequenas alterações de temperatura.

- **Identificação da polaridade** - O níquel-cromo (+) é mais duro que o cobre-níquel (-).
- **Aplicação** - Uso geral até 900°C.

Nota: Os termopares tipo **T**, **J** e **E** tem como fio negativo a liga constantan, composto de cobre e níquel, porém a razão entre estes dois elementos varia de acordo com as características do fio positivo (cobre, ferro e níquel - cromo). Portanto a constantan do fio negativo não deve ser intercambiado entre os três tipos de termopares.

- **Tipo K**

- **Composição** - Níquel-Cromo (+) / Níquel-Alumínio (-)  
O fio positivo níquel-cromo é conhecido comercialmente como **Cromel** e o negativo níquel - alumínio é conhecido como **Alumel**. O alumel é uma liga de níquel, alumínio, manganês e silício.
- **Faixa de utilização** - -200 a 1200°C
- **Características** - Os termopares tipo **K** são recomendáveis para uso em atmosferas oxidantes ou inertes no seu range de trabalho. Por causa de sua resistência em oxidação, são melhores que os tipos **T**, **J** e **E** e por isso são largamente usados em temperaturas superiores a 540°C.
- Podem ser usados ocasionalmente em temperaturas abaixo de zero graus. O termopar de Níquel-Cromo (ou Cromel) / Níquel-Alumínio (ou Alumel) como também é conhecido, não deve ser utilizado em:
  - a. Atmosferas redutoras ou alternadamente oxidante e redutora.
  - b. Atmosferas sulfurosas, pois o enxofre ataca ambos os fios e causa rígida ferrugem e quebra do termopar.
  - c. Vácuo, exceto por curtos períodos de tempo, pois o cromo do elemento positivo pode vaporizar causando descalibração do sensor.
  - d. Atmosferas que facilitem a corrosão chamada de "*Green-Root*", ou oxidante verde, ocorre quando a atmosfera ao redor do termopar contém pouco oxigênio, como por exemplo dentro de um tubo de proteção longo, de pequeno diâmetro e não ventilado. Quando isto acontece os fios ficam esverdeados e quebradiços, ficando o fio positivo (cromel) magnético e causando total descalibração e perdas de suas características. O *green-root* pode ser minimizado aumentando o fornecimento de oxigênio através do uso de um tubo de proteção de maior diâmetro ou usado um tubo ventilado. Outro modo é de diminuir a porcentagem de oxigênio para um valor abaixo da qual proporcionará a corrosão. Isto é feito inserindo-se dentro do tubo u "getter" ou elemento que absorve oxigênio e vedando-se o tubo. O "getter" pode ser por exemplo uma pequena barra de titânio.

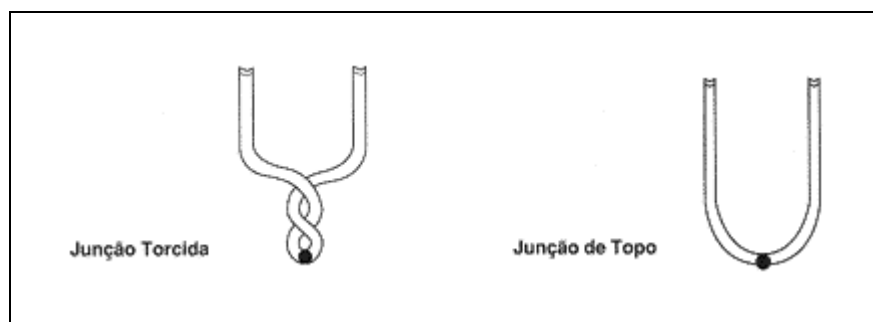


- **Identificação da polaridade** - Níquel-Cromo (+) não atrai ímã e o Níquel-Alumínio (-) é levemente magnético.
- **Aplicação** - É o termopar mais utilizado na indústria em geral devido a grande faixa de atuação até 1200°C. Os termopares nobres são aqueles cujas ligas são constituídas de platina. Possuem um custo elevado devido ao preço do material nobre, baixa potência termoelétrica e uma altíssima precisão dada a grande homogeneidade e pureza dos fios.
- **Tipo S**
  - **Composição** - Platina 90%- Ródio 10% (+) / Platina (-)
- **Tipo R**
  - **Composição** - Platina 87% - Ródio 13% (+) / Platina (-)
  - **Faixa de utilização** - 0 a 1600°C
  - **Características** - Os termopares tipo **S** e **R** são recomendados para uso em atmosferas oxidantes ou inertes no seu range de trabalho. O uso contínuo em altas temperaturas causam excessivo crescimento de grão, ao qual podem resultar numa falha mecânica do fio de platina (quebra do fio), e também tornar os fios susceptíveis à contaminação, o que causa a redução da F.E.M. gerada. Mudanças na calibração também são causadas pela difusão ou valorização do ródio do elemento positivo para o fio de platina pura do elemento negativo. Todos estes efeitos tendem a causar heterogeneidades, o que tira o sensor de sua curva característica. Os termopares tipo **S** e **R** não devem ser usados no vácuo, em atmosferas redutoras ou atmosferas com vapores metálicos a menos que bem protegidos com tubos protetores e isoladores cerâmicos de alumina. A exceção é o uso de tubo de proteção de platina (tubete) que por ser do mesmo material não contamina os fios e dá proteção necessária aos termoelementos. Estes sensores apresentam grande precisão e estabilidade em altas temperaturas, sendo usados como sensor padrão na aferição de outros termopares. Não deve ser utilizado em temperaturas abaixo de zero, pois sua curva F.E.M. x temperatura varia irregularmente. A diferença entre os termopares do tipo **S** e **R** está somente na potência termoelétrica gerada. O tipo **R** gera um sinal aproximadamente 11% maior que o tipo **S**.
  - **Identificação da polaridade** Os fios positivos PtRh 10% e PtRh 13% são mais duros que os fios de platina pura (fio negativo).
  - **Aplicação** Seu uso está em processos com temperaturas elevadas ou onde é exigido grande precisão como indústrias de vidro, cerâmicas, siderúrgicas entre outras
- **Tipo B**
  - **Composição** - Platina 70% - Ródio 30% (+) / Platina 94% - Ródio 6% (-)

- **Faixa de utilização** 600 a 1700°C
- **Características** O termopar tipo **B** é recomendado para uso em atmosferas oxidantes ou inertes. É também adequado para certos períodos em vácuo. Não deve ser aplicado em atmosferas redutoras nem naquelas contendo vapores metálicos, requerendo tubo de proteção cerâmico como os tipo **S** e **R**. O tipo **B** possui maior resistência mecânica que os tipos **S** e **R** e sob certas condições apresenta menor crescimento de grão e menor *drift* de calibração que o **S** e **R**. Sua potência termoelétrica é muitíssimo baixa, o que torna sua saída em temperaturas de até 50°C quase nula. É o único termopar que não necessita de cabo compensado para sua interligação com o instrumento receptor, fazendo-se o uso de cabos de cobre comuns (até 50°C).
- **Identificação da polaridade** - O fio de platina 70% - Ródio 30% (+) é mais duro que o Platina 94% - Ródio 6% (-).
- **Aplicação** - Seu uso é em altas temperaturas como indústria vidreira e outras.

### União da junção de medição

A junção de medição (junta quente) de um termopar pode ser obtida por qualquer método que dê a solidez necessária e um bom contato elétrico entre os dois fios, sem contudo alterar as características termoelétricas dos mesmos, podendo estes serem torcidos ao redor de outros antes da solda (junção torcida) ou simplesmente serem encostados um no outro para ser soldado depois (junção de topo).



Para os termopares de base metálica com os tipos E, T, J e K, deve-se inicialmente fixar as pontas dos fios antes da solda. Já para os termopares nobres, não há necessidade de se preparar a superfície, entretanto deve-se tomar muito cuidado na manipulação dos fios, evitando a contaminação por óleo, suor ou poeira.

Entre as diferentes maneiras de se realizar um bom contato elétrico na junção de medição do termopar, a solda é a mais utilizada, porque assegura uma ligação perfeita dos fios por fusões dos metais do termopar.

Com excessão da solda prata, não é colocado nenhum outro material metálico para se realizar a solda, tendo somente a fusão dos metais. O único inconveniente da soldagem é, se a chama do maçarico não estiver bem regulada, de contaminar os fios criando eterogeineidades; o que pode tirar o termopar de sua curva de calibração.

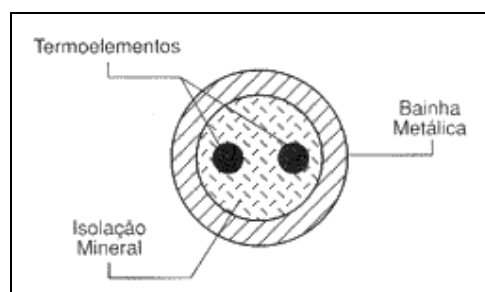
Lembrar que numa solda feita a maçarico oxi-acetileno, se a porcentagem do oxigênio for muito pequena, tem-se uma chama com características redutoras, o que é prejudicial aos termopares do tipo E, K, S, R e B.

O ajuste do tipo de chama adequado é muitas vezes dado pela coloração da chama. Além do maçarico, pode-se usar solda TIG, resistência (caldeamento) ou arco plasma.

### Termopar isolamento mineral

O desenvolvimento dos termopares isolamento mineral partiu da necessidade de satisfazer as severas exigências do setor nuclear. Desde então, os benefícios deste trabalho puderam ser transmitidos à indústria em geral, que os utiliza numa grande variedade de aplicações devido a série de vantagens que oferecem, tais como grande estabilidade, resistência mecânica entre outros.

O termopar isolamento mineral consiste de três partes básicas: **um ou mais pares de fios** isolados entre si por um **material cerâmico** compactado a uma **bainha metálica externa**.



Este tipo de montagem é de extrema utilidade pois os fios ficam completamente isolados dos ambientes agressivos, que podem causar a completa deterioração dos

termoelementos, além da grande resistência mecânica, o que faz com que o termopar isolamento mineral possa ser usado em um número quase infinito de aplicações.

### **Fios e cabos de extensão e compensação**

Na maioria das aplicações industriais de medição de temperatura por meio de termopares o elemento sensor encontra-se afastado do instrumento receptor. Nessas condições torna-se necessário que o instrumento seja ligado ao termopar por fios que possuam uma resposta a temperatura similar a do termopar, a fim de que possa ser efetuada a correção da junta de referência.

#### **Cabos e fios de extensão**

São condutores fabricados com as mesmas ligas de fios termopares, portanto apresentam a mesma curva de F.E.M x temperatura. Os fios e cabos de extensão, apesar de possuírem a mesma liga dos termopares, apresentam um custo menor devido a limitações de temperatura às quais podem ser submetidos, pois sua composição química não é tão homogênea quanto a dos termopares.

#### **Cabos e fios de compensação**

São condutores fabricados com ligas diferentes dos termopares a que se destinam, mas também apresentam mesma curva de F.E.M x temperatura dos termopares. Os fios e cabos de compensação são usados principalmente com termopares do tipo nobre (a base de platina), S e R, mas podem também ser utilizados no termopar tipo K

### **Termoresistências**

As termoresistências são sensores de temperatura muito usados nos processos industriais e em laboratórios, por suas condições de alta estabilidade, repetibilidade, resistência a contaminação, pequeno *drift* em relação ao tempo, menor influência de ruídos e altíssima precisão de leitura.

Por estas características, este sensor é padrão internacional para medição de temperatura na faixa de  $-259,3465^{\circ}\text{C}$  a  $961,78^{\circ}\text{C}$ , segundo a ITS-90.

### Princípio de funcionamento

As termoresistências ou bulbos de resistência ou termômetros de resistência ou RTD, são sensores que se baseiam no princípio da variação da resistência ôhmica em função da temperatura. Elas aumentam a resistência com o aumento da temperatura. Seu elemento sensor consiste de uma resistência em forma de fio de platina de alta pureza, de níquel ou de cobre (menos usado) encapsulado num bulbo de cerâmica ou vidro.

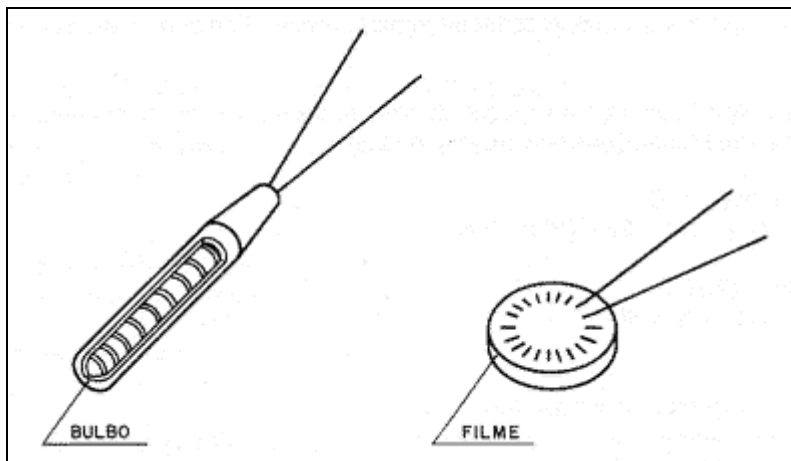
Entre esses materiais, o mais utilizado é a platina, pois apresenta uma ampla escala de temperatura, uma alta resistividade permitindo assim uma maior sensibilidade, um alto coeficiente de variação de resistência com a temperatura, uma boa linearidade resistência x temperatura e também ter rigidez e ductibilidade para ser transformada em fios finos, além de ser obtida em forma puríssima. Padronizou-se então a termoresistência de platina.

### Construção física do sensor

O fio de platina ou níquel é enrolado na forma helicoidal e encapsulado hermeticamente em um bulbo de cerâmica ou vidro.

Os bulbos de vidro geralmente são usados em laboratórios, onde se deseja um tempo de resposta baixo, já os bulbos cerâmicos são mais recomendados para aplicações industriais, pois resistem a temperaturas mais altas e tem uma maior resistência mecânica.

Outro método é depositar platina sobre um substrato fino (*thin-film*) para substituir o fio convencional. Desta forma, o elemento pode ser ligado a uma superfície plana ou cilíndrica.



Estes sensores são colocados em poços ou tubos de proteção para uma maior resistência e interligados por fios de cobre, níquel ou prata até o cabeçote.

Os acessórios utilizados nos termopares também são usados para as termoresistências.

### **Características gerais da termoresistência de platina**

A termoresistência de platina é a mais usada industrialmente devido a sua grande estabilidade e precisão.

E esta termoresistência tem sua curva padronizada conforme norma DIN-IEC 751-1985 e tem como características uma resistência de  $100\Omega$  a  $0^{\circ}\text{C}$ .

Convencionou-se chama-la de Pt-100, (fios de platina com  $100\Omega$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ).

Sua faixa de trabalho vai de  $-200$  a  $650^{\circ}\text{C}$ , porém a ITS-90 padronizou seu uso até  $62^{\circ}\text{C}$  aproximadamente.

Os limites de erros e outras características das termoresistências, são freqüentemente as normas DIN-IEC 751/1985.

### **Recomendações para a instalação de termoresistências**

Para que se tenha um perfeito funcionamento do sensor, são necessários certos cuidados de instalação bem como armazenagem e manutenção.

- Deve-se especificar os materiais de proteção e ligações, capazes de operar na temperatura de operação requerida.
- O sensor deve ser imerso completamente no processo, para se evitar a perda de calor por condução pelos fios da bainha. Para tal, um comprimento mínimo de imersão e o uso de materiais de proteção com baixa condutibilidade térmica também são recomendados.
- Deve-se evitar choque mecânicos nas peças, pois estes podem danificar o sensor.
- Deve-se utilizar fios de cobre de mesmo comprimento e diâmetro para a interligação de termoresistência.
- Zonas de estagnação ou com baixas velocidades do fluido em contato com o sensor, não devem ser utilizadas devido ao retardo e os erros causados à medição.
- Na ligação a 3 fios, se for necessário a troca de um dos fios de interligação, recomenda-se trocar os 3 fios para que se tenha igualdade em seus valores ôhmicos.
- Em locais sujeitos a ruídos intensos, recomenda-se o uso de cabos blindados e torcidos.

## **Vantagens e desvantagens de termoresistência x termopar**

### **Vantagens:**

- a. Possuem maior precisão dentro da faixa de utilização do que os outros tipos de sensores.
- b. Tem características de estabilidade e repetibilidade melhores do que os termopares.
- c. Com ligação adequada, não existe limitação para distância de operação.
- d. Dispensa o uso de fios e cabos de extensão e compensação para ligação, sendo necessário somente fios de cobre comuns.
- e. Se adequadamente protegido ( poços e tubos de proteção ), permite a utilização em qualquer ambiente.
- f. Curva de Resistência x Temperatura mais linear.
- g. Menos influenciada por ruídos elétricos.

### **Desvantagens**

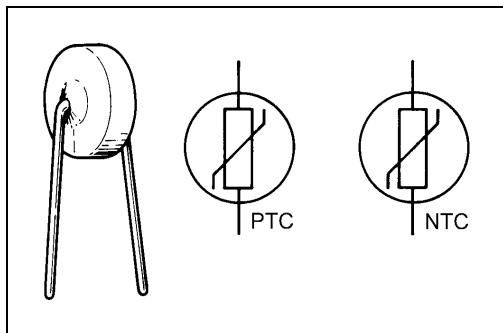
- a. São mais caras do que os sensores utilizados nesta mesma faixa.
- b. Range de temperatura menor do que os termopares.
- c. Deterioram-se com mais facilidade, caso se ultrapasse a temperatura máxima de utilização.
- d. É necessário que todo o corpo do bulbo esteja com a temperatura estabilizada para a correta indicação.
- e. Possui um tempo de resposta mais alto que os termopares.
- f. Mais frágil mecanicamente.
- g. Autoaquecimento, exigindo instrumentação sofisticada.

### **Termistores**

Os termistores são dispositivos semicondutores que variam a sua resistência conforme a temperatura do seu corpo. São utilizados toda a vez que se necessita transformar uma variação de temperatura em um sinal elétrico.

Dependendo da forma como a resistência se altera com a temperatura, os termistores podem ser do tipo PTC ou NTC.

A figura a seguir mostra o aspecto típico destes componentes e os símbolos.



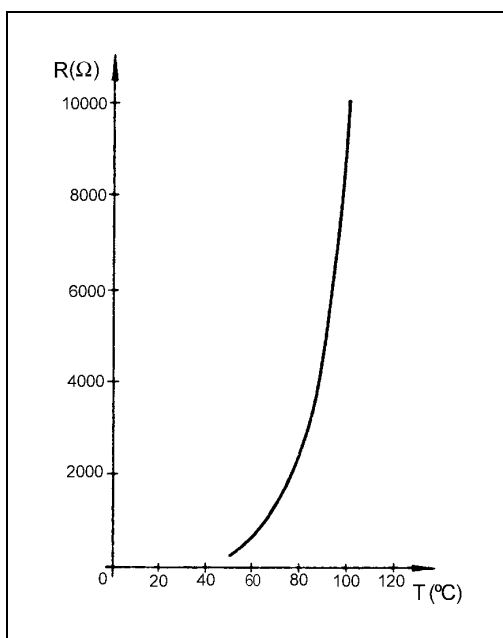
Os termistores podem ser utilizados tanto em CC quanto em CA.

### Termistor PTC

- Aumenta a temperatura;
- Aumenta a resistência.

É um termistor com coeficiente de temperatura positivo (*Positive Temperature Coeficiente*), ou seja, a resistência aumenta com a elevação da temperatura.

A figura a seguir ilustra o comportamento de um termistor PTC. Observa-se entre 70° e 100° comportamento típico do PTC.



Cada PTC tem uma faixa de temperatura onde existe grande variação de resistência em função das variações de temperatura. É nesta faixa que se situa a aplicação ideal do termistor.

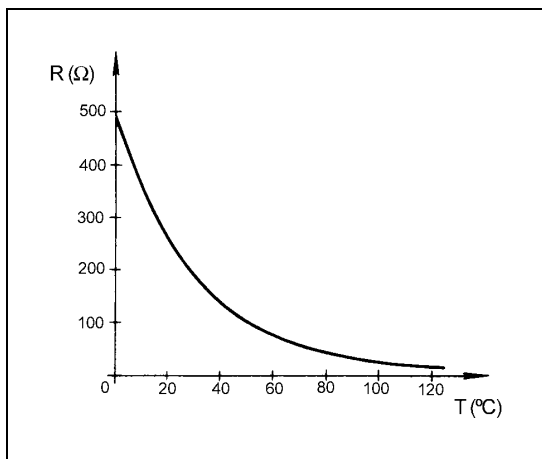


### Termistor NTC

- Aumenta a temperatura;
- Diminui a resistência.

É um termistor com coeficiente de temperatura negativo (*Negative Temperature Coefficient*), ou seja, a resistência diminui com o aumento de temperatura.

A figura mostra o gráfico típico de um NTC ilustrando a variação de resistência em função da temperatura.





# Referências bibliográficas

<http://www.iope.com.br/>, acesso em março de 2006.

SENAI-SP. **Eletricista de manutenção IV:- Acionamento**. Por José Geraldo Belato e Regina Célia Roland Novaes. São Paulo, 1997.

SENAI-SP. **Técnico em mecatrônica: Robótica**. Por Julio César de Almeida Freitas e Paulo Bueno Santos. São Paulo, 2000.

SENAI-SP. **Reparador de equipamentos eletrônicos II - Eletrotécnica**. Por, Irandi Dutra, José Geraldo Belato e Regina Célia Roland Novaes. São Paulo, 1990.

SENAI-SP. **Técnico em mecatrônica - Robótica**. Por Julio César de Almeida Freitas e Paulo Bueno Santos. São Paulo, 2000.

THOMAZINI, Daniel e ALBUQUERQUE, Pedro Urbano Braga de. **Sensores Industriais: fundamentos e aplicações**. São Paulo, Erica.

