

# PMR3301 – Aula 9:

## Sensores mais utilizados em processos de fabricação

### O que são Sensores e os Sensores mais utilizados em processos de fabricação.

#### Entendendo Sensores:

O ser humano é provavelmente o melhor exemplo comparativo de como funciona um sistema de instrumentação. Perante a aquisição de dados exterior, realiza ações de controle, ou seja, está continuamente monitorando a realidade que o envolve e, em função dela, a tomar decisões que nela se repercutem.

A maioria dos sensores consiste em transdutores que convertem uma forma de energia (correspondente à grandeza que vai ser medida) em um sinal elétrico.

#### Definições

A seguir temos algumas definições que são importantes para a apreciação deste artigo:

#### Transdutor

Dispositivo que converte uma forma de energia ou quantidade física, noutra.

#### Sensor

Fornecer informação de entrada no nosso sistema a partir do mundo externo. Por exemplo, um sensor fotoelétrico pode ser tanto um transdutor quanto um sensor propriamente dito. Dizemos que um sensor fotoelétrico é um transdutor quando ele converte energia luminosa em energia elétrica. É o caso das células fotovoltaicas que convertem diretamente luz em energia elétrica. Por outro lado, temos sensores propriamente ditos que convertem luz numa variação de uma grandeza elétrica qualquer como corrente ou resistência. Esse é o caso das LDRs e dos fotodiodos.

O conjunto formado por um transdutor, um condicionador de sinal ([amplificador](#)) e um [indicador](#) é chamado de **sistema de medição**.

Quando o sinal é disponibilizado não por um indicador, mas na forma de corrente ou tensão já condicionado - (4 a 20) mA ou (0 a 5) V, geralmente - o dispositivo é chamado de [transmissor](#).

## Atuador

Executam ações de saída para o mundo externo. Exemplos de atuadores: válvulas, relés, cilindros, motores, solenoides.

O conceito de um sistema de aquisição e controle, aplicado aos sistemas industriais, nada mais é do que a aquisição de dados do mundo físico através de sensores, e uso dessas informações para (com uma programação adequada) controlar processos ou sistemas através de atuadores.

A primeira geração de instrumentos utilizados em medidas elétricas foi a dos instrumentos analógicos, onde o operador tinha de efetuar a leitura dos valores, de forma a controlar a máquina ou processo.

O decréscimo dos custos da eletrônica digital, nomeadamente dos PLCs (ou CLPs - Controladores Lógicos Programáveis), originou o aparecimento de uma segunda geração de instrumentos, designados como instrumentos digitais.

Vamos então introduzir dois conceitos importantes:

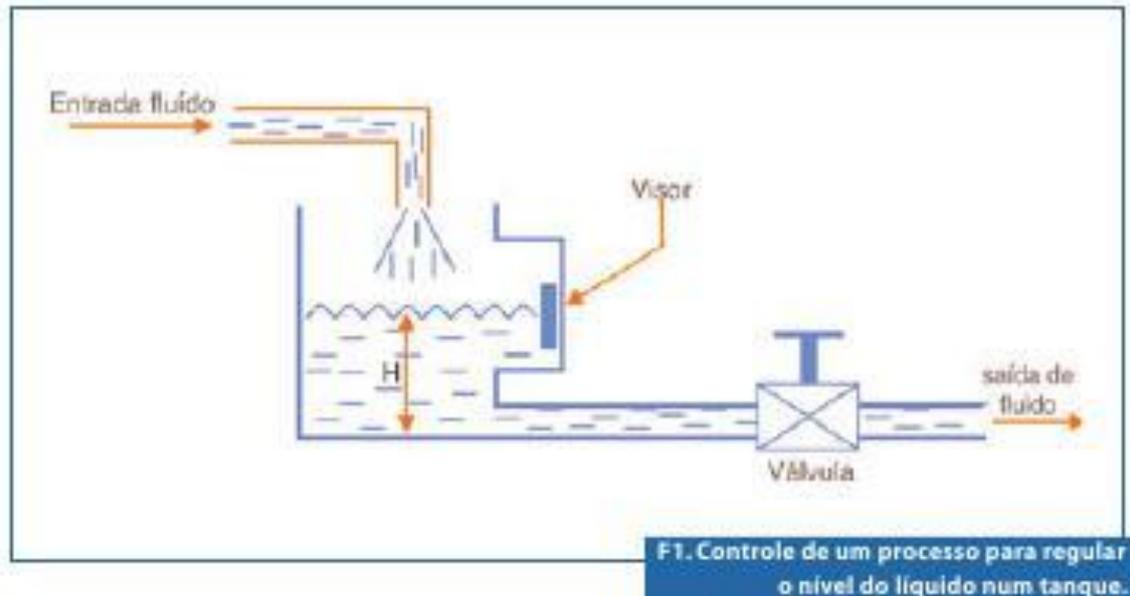
- **Variável dinâmica** é qualquer parâmetro físico que pode variar, ao longo do tempo, espontaneamente ou por influências externas. Exemplos: temperatura, pressão, vazão, nível, força, luminosidade, umidade etc.
- **Sistema de Controle** é um conjunto de dispositivos que mantém uma ou mais grandezas físicas, dentro de condições definidas de acordo com a sua entrada.

Os dispositivos que o compõem podem ser elétricos, mecânicos, ópticos e até seres humanos.

**O objetivo do controle de processos** é fazer com que uma variável dinâmica tenha o seu valor o mais próximo possível do valor específico desejado.

Vejamos a seguir, na figura 1, um sistema básico de controle de processos para regular o nível do líquido num tanque.

Vejamos quais as operações envolvidas no processo da figura anterior:



### Processo

Os fluxos de entrada e de saída do líquido no tanque, o próprio tanque e o líquido constituem um processo a colocar sob controle, no que diz respeito ao nível do fluido.

### Medida

Para efetuar o controle de uma variável dinâmica num processo, temos de ter informação sobre a própria variável. Esta informação é determinada através de uma medida da variável. Em geral uma medida é uma transdução (transdutor) de uma variável num correspondente analógico dela que pode ser uma pressão pneumática, uma tensão ou uma corrente elétrica.

**Transdutor:** é um dispositivo que efetua a medida inicial e a conversão de energia de uma variável dinâmica numa informação analógica elétrica ou pneumática.

O resultado da medida é uma transformação da variável dinâmica em uma informação proporcional de forma útil para os outros elementos da malha de controle.

### Avaliação

Consiste na comparação da medida da variável controlada com o ponto de ajustamento (setpoint) e na determinação da ação necessária para trazer a variável controlada ao valor do ponto de ajustamento.

Esta avaliação aparece com o nome de **controlador (ex: processamento eletrônico)**.

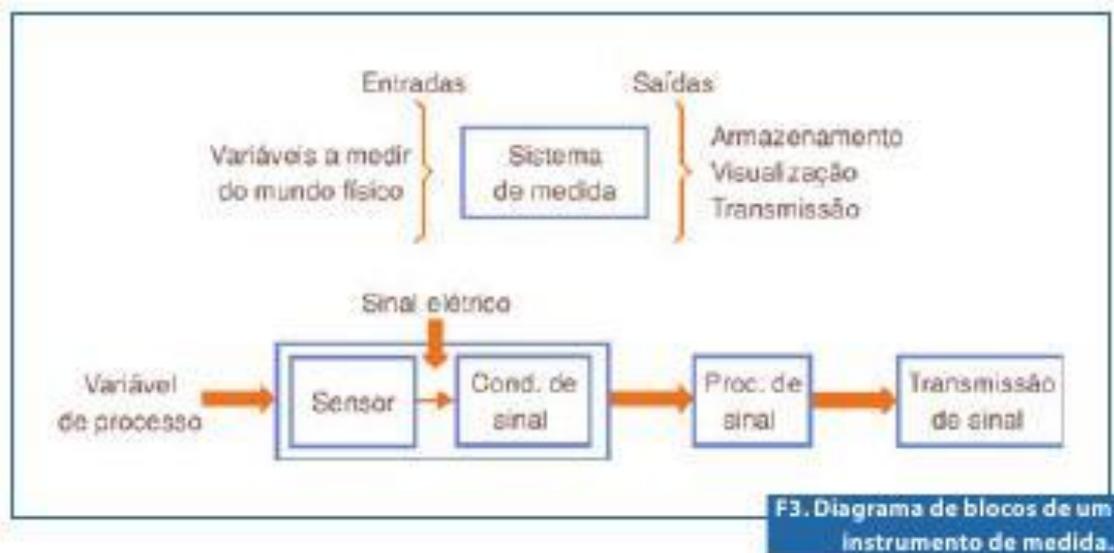
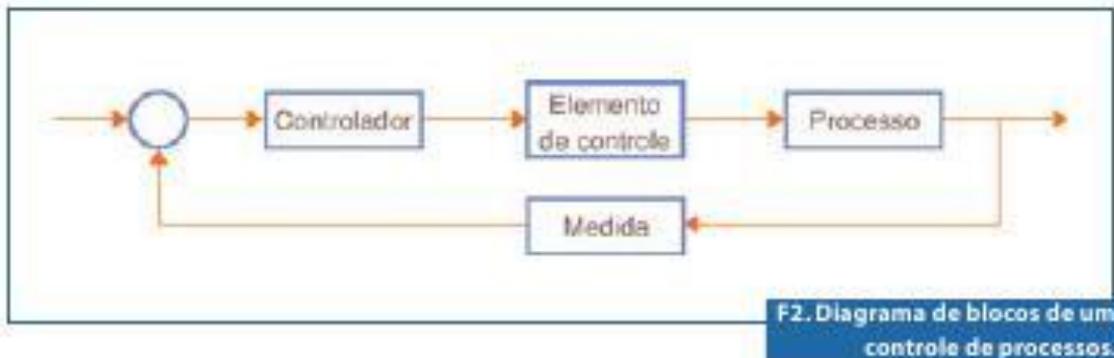
### Elemento de controle

Elemento final da malha de um controle de processos é o dispositivo que exerce uma influência direta no processo, isto é, que faz as alterações

necessárias na variável dinâmica para trazer ao ponto de ajustamento. (Ex.: é a válvula que ajusta o caudal de saída do tanque). Figura 2.

Existem quatro blocos fundamentais em que se pode dividir, do ponto de vista funcional, um instrumento de medida (veja na figura 3):

- Sensor;
- Transmissão;
- Condicionador de sinal;
- Supervisão.



### Características dos Sensores

O sensor é um dispositivo que transforma a informação da grandeza física a medir em um sinal elétrico que lhe é proporcional e que se encontra adaptado às características dos módulos de entrada do PLC.

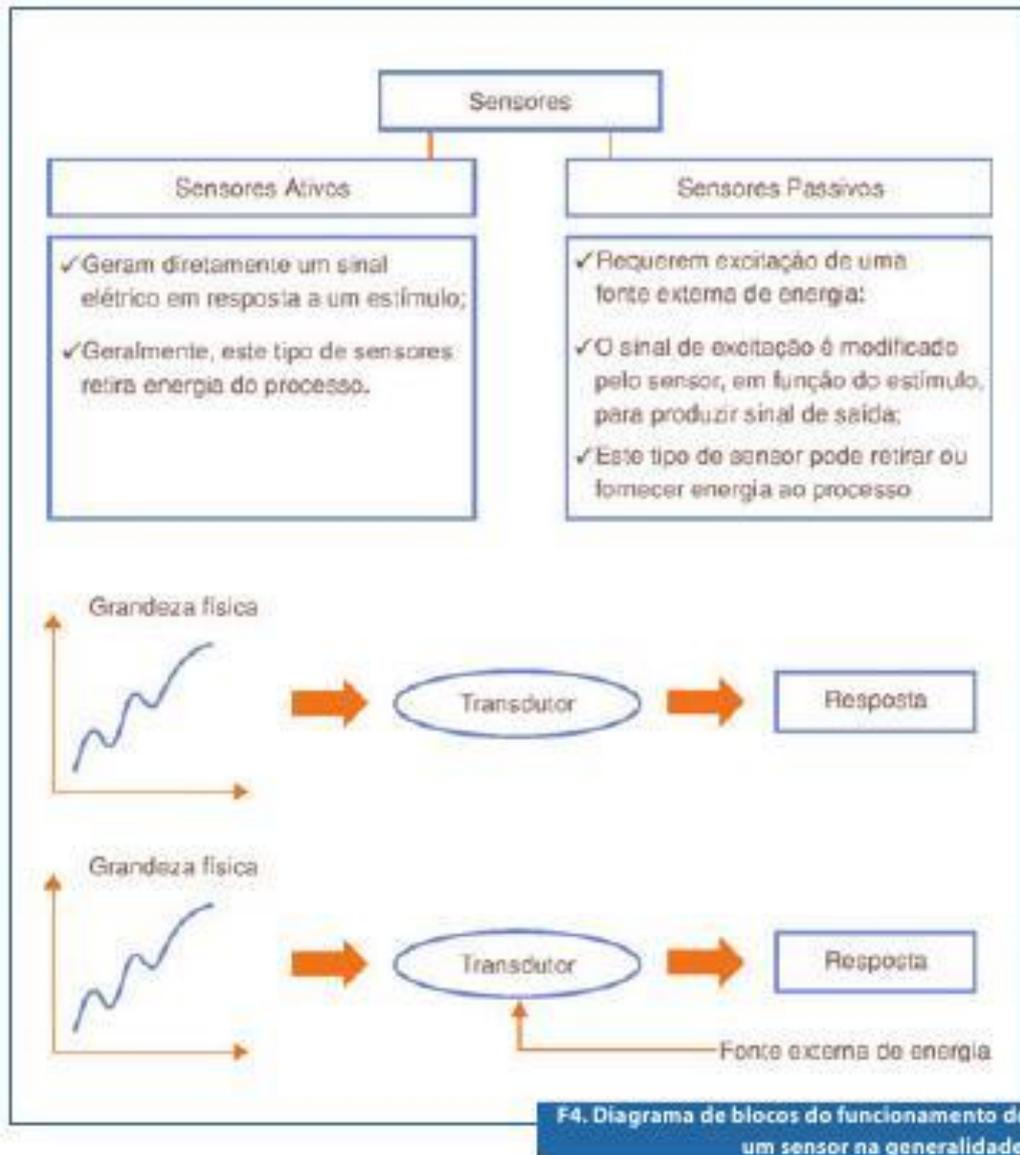
A grande maioria dos sensores são do tipo elétrico, sendo o sinal, à sua saída, uma tensão ou corrente elétrica proporcional à grandeza física que se pretende medir.

Os sensores devem, ao monitorizá-las, interferir o mínimo possível com as variáveis de processo.

Eles devem proceder à conversão da informação de uma natureza para outra

de forma, mais fiel, repetitiva e monotônico possível.

Na figura 4 temos a representação de um diagrama de bloco, DB, do funcionamento de um sensor em geral.



Vejamos então quais as **características dos sensores**:

- **Repetitividade:** Quantidade de medições feitas pelo mesmo sensor nas mesmas condições de funcionamento.
- **Função Resposta:** Variação na saída em função da quantidade medida.
- **Desvio:** Variação na saída do sensor sem que exista qualquer variação na sua entrada.
- **Sensibilidade:** Alteração na saída por unidade de variação da entrada.
- **Erro:** Diferença entre a quantidade medida e o valor “real/verdadeiro”.
- **Incerteza:** Parte da expressão do resultado da medida que estabelece o intervalo de valores dentro do qual se encontra o valor real.
- **Precisão:** Termo qualitativo utilizado para relacionar a saída do instrumento com o valor real medido.

- **Resolução:** Menor incremento da variável física que pode ser detectado pelo sensor.
- **Linearidade:** Quando a sensibilidade se mantém constante para todos os valores da variável física, o sensor é dito linear.
- **Zona morta:** A mais larga variação da variável a ser lida, à qual o sensor não responde.
- **Estabilidade:** Repetição dos resultados.
- **Estabilidade no zero:** Medida da capacidade do instrumento para regressar à indicação de saída nula para entrada nula.
- **Tempo de resposta:** Rapidez com que a saída responde a uma variação do sinal da entrada.
- **Coefficiente de Temperatura:** Alteração na resposta do sensor, por unidade de temperatura. Esta característica aplica-se a todos os sensores.

### Principais tipos de Sensores:

Os sensores são dispositivos que visam o interfaceamento de equipamentos com o mundo real. Existem centenas de tipos, com características que se adaptam a uma infinidade de aplicações.

No entanto, ao se utilizar estes dispositivos o projetista precisa conhecer suas características sabendo interpretá-las.

Um deslize nestas interpretações pode levar a resultados inesperados, capazes de afetar o desempenho de qualquer projeto. O que vimos neste artigo são apenas algumas das principais características que devem ser observadas nos sensores, quando os utilizarmos.

*\* Originalmente publicada na revista Saber Eletrônica nº 430 - Ano 44 - nov/2008*

Como o sinal é uma forma de [energia](#), os sensores podem ser classificados de acordo com o tipo de energia que detectam. Por exemplo:

- sensores de [luz](#): [células solares](#), [fotodiodos](#), [fototransistores](#), tubos [foto-elétricos](#), [CCDs](#), [radiômetro de Nichols](#), [sensor de imagem](#)
- sensores de [som](#): [microfones](#), [hidrofone](#), sensores [sísmicos](#).
- sensores de [temperatura](#): [termômetros](#), [termopares](#), [resistores](#) sensíveis a temperatura ([termístores](#)), termômetros [[Bimetal|bimetálicos]] e [termostatos](#)
- sensores de [calor](#): [bolometro](#), [calorímetro](#)
- sensores de [radiação](#): [contador Geiger](#), [dosímetro](#)
- sensores de [resistência elétrica](#): [ohmímetro](#)

- sensores de corrente elétrica: galvanômetro, amperímetro
- sensores de tensão elétrica: eletrômetro, voltímetro
- sensores de potência elétrica: wattímetro
- sensores magnéticos: compasso magnético, compasso de fluxo de porta, magnetômetro, dispositivo de efeito Hall
- sensores de pressão: barômetro, barógrafo, pressure gauge, indicados da velocidade do ar, variômetro
- sensores de fluxo de gás e líquido: sensor de fluxo, anemômetro, medidor de fluxo, gasômetro, aquômetro, sensor de fluxo de massa
- sensores químicos: eletrodo ion-selectivo, eletrodo de vidro para medição de pH, eletrôdo redox, sonda lambda
- sensores de movimento: arma radar, velocímetro, tacômetro, hodômetro, coordenador de giro,
- sensores de orientação: giroscópio, horizonte artificial, giroscópio de anel de laser
- sensores mecânicos: sensor de posição, selsyn, chave, strain gauge
- sensores de proximidade: Um tipo de sensor de distância, porém menos sofisticado, apenas detecta uma proximidade específica. Uma combinação de uma fotocélula e um LED ou laser. Suas aplicações são nos telefones celulares, detecção de papel nas fotocopiadoras entre outras.
- sensores de distância (sem contato): Uma série de tecnologias podem ser aplicadas para captar as distâncias:
  - Captação auto enviável e livre
  - varredura por laser - Um raio de laser é enviado ao alvo por um espelho. Um sensor de luz responde quando o raio é refletido de um objeto ao sensor; então a distância é calculada por triangulação.
  - acústicos: usam o retorno do eco de Ultra-som que se propagam na velocidade do som. Usada nas câmeras polaroid do meio do século 20 e também aplicado na robótica. Sistemas mais antigos como Fathômetros (e localizadores de peixes) e outros sistemas Sonar (**S**ound **N**avigation **A**nd **R**anging) em aplicações navais utilizavam em sua maiorias frequências de sons audíveis.
  - foco. Lentes de grande abertura são focalizadas por um sistema motorizado. A distância de um elemento "em foco" pode ser determinada pela posição das lentes.
  - binocular. Duas imagens são obtidas em uma base conhecida e colocadas em coincidência por um sistema de espelhos e prismas. O ajuste é utilizado para determinar a distância. Usado em algumas câmeras (chamadas câmera detectores de distância) e em escala maior em detectores de distância em navios de guerra

- tempo-de-voe eletromagnético. Gera um impulso eletromagnético, o envia, depois mede o tempo que o pulso leva para retornar. Comumente conhecido como - [RADAR](#)(Radio **D**etection **A**nd **R**anging) são agora acompanhados pelo análogo LIDAR (**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging. Veja o item a seguir), todos sendo ondas eletromagnéticas. Os sensores acústicos são um caso especial em que um [transdutor](#) é usado para gerar uma onda a partir da compressão de um fluido médio (ar ou água).
- tempo-de-voe por luz. Usado em equipamentos de pesquisa modernos, um curto pulso de luz é emitido e retornado por um retroreflector. O tempo de retorno do pulso é proporcional à distância e é relacionado à densidade atmosférica em um modo previsível.
- Roda ou faixas por [código Gray](#)- uma certa quantia de fotodetectores pode sentir uma imagem, criando um número binário. O código Gray é uma imagem modificada que garante que apenas um bit de informação mude a cada passo medido, desse modo evitando ambiguidades.
- Sistemas inicializados. Estes requerem um começo de uma distância conhecida e acumulam mudanças na medida.
- laser coerente - a interferência entre uma onda de luz transmitida e refletida é contada e a distância é calculada. Possui uma alta precisão.
- Roda Quadrature- Uma máscara em formato de disco é movida por um conjunto de engrenagens. Duas fotocélulas detectando a passagem de luz através da máscara podem determinar o giro da máscara e a direção desta rotação.
- sensores de [partículas subatômicas](#): [cintilômetro](#), [câmara de nuvens](#), [câmara de bolhas](#)

## Sensores biológicos

---

Todos os [organismos](#) vivos são dotados de sensores, com funções similares àquelas dos dispositivos descritos acima. São [células](#) especializadas, sensíveis a estímulos específicos, tais como:

- [luz](#), [movimento](#), [temperatura](#), [campos magnéticos](#), [gravidade](#), [umidade](#), [vibração](#), [pressão](#), [campos elétricos](#), [som](#), e outros aspectos físicos do ambiente;
- aspectos físicos do ambiente interno, tais como [alongamento](#), movimento do organismo, e a posição dos membros ([propriocepção](#));
- [moléculas](#) ambientais, incluindo [toxinas](#), [nutrientes](#), e [feromônios](#);
- muitos aspectos do [metabolismo](#), tais como os níveis de [glicose](#), [oxigênio](#), ou [osmolalidade](#);

- moléculas de sinal internas, tais como os [hormônios](#), [neurotransmissores](#), e [citocinas](#)
- diferenças entre [proteínas](#) do próprio organismo e do ambiente ou criaturas estranhas.

Os [sentidos humanos](#) são exemplos de sensores [neuroniais](#) especializados.

As [vibrissas](#) dos animais também funcionam como sensores [táteis](#).

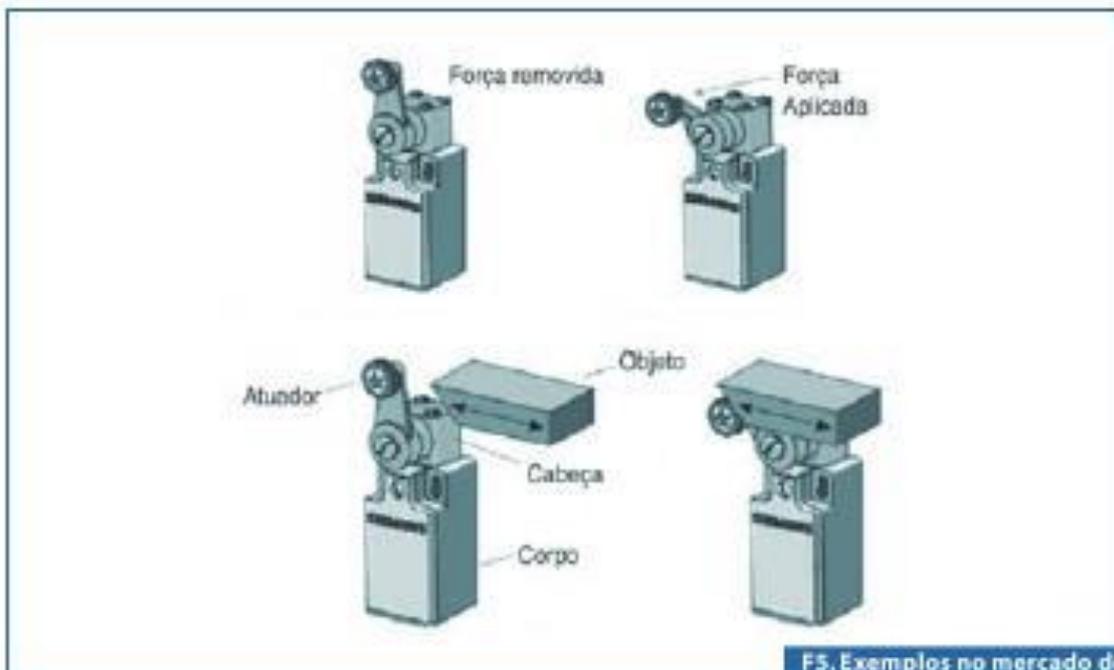
### **Sensores Mecânicos:**

- O fim-de-curso mecânico é um sensor digital.
- São normalmente utilizados como sensores de proximidade.
- Existem numa grande variedade de formas para uma diversidade de aplicações.
- Os sensores digitais são indicados para operações do tipo “liga/desliga”.

### **As principais características dos sensores mecânicos são:**

- Fáceis de integrar em máquinas de qualquer tipo;
- Requerem contato;
- Robustos.

**Em seguida são apresentadas duas figuras 5 e 6 com exemplos de sensores mecânicos:**



F5. Exemplos no mercado de sensores mecânicos.



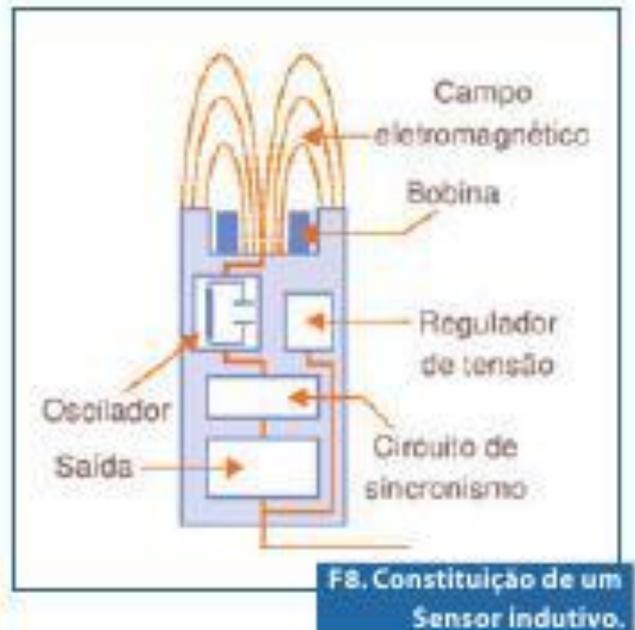
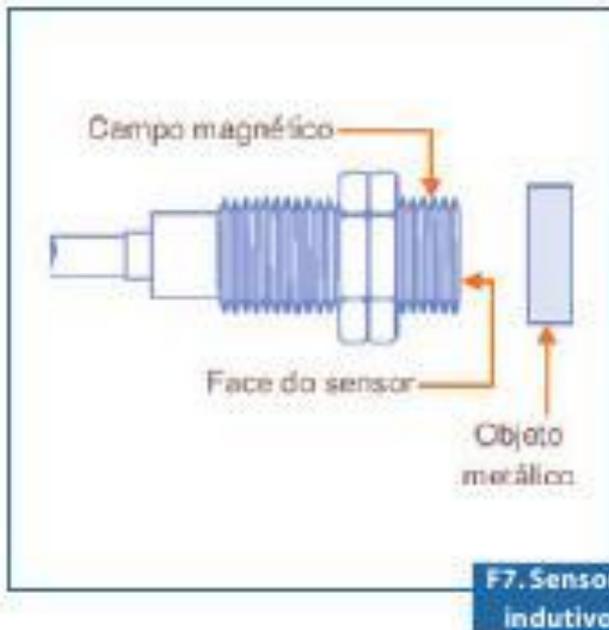
F6. Exemplos no mercado de sensores mecânicos.

## Sensores Indutivos

O sensor de proximidade indutivo (figura 7) tem internamente uma bobina que produz um campo eletromagnético, que é utilizado pra detectar a presença de um objeto metálico.

Este tipo de sensor (figura 8) é composto por quatro elementos:

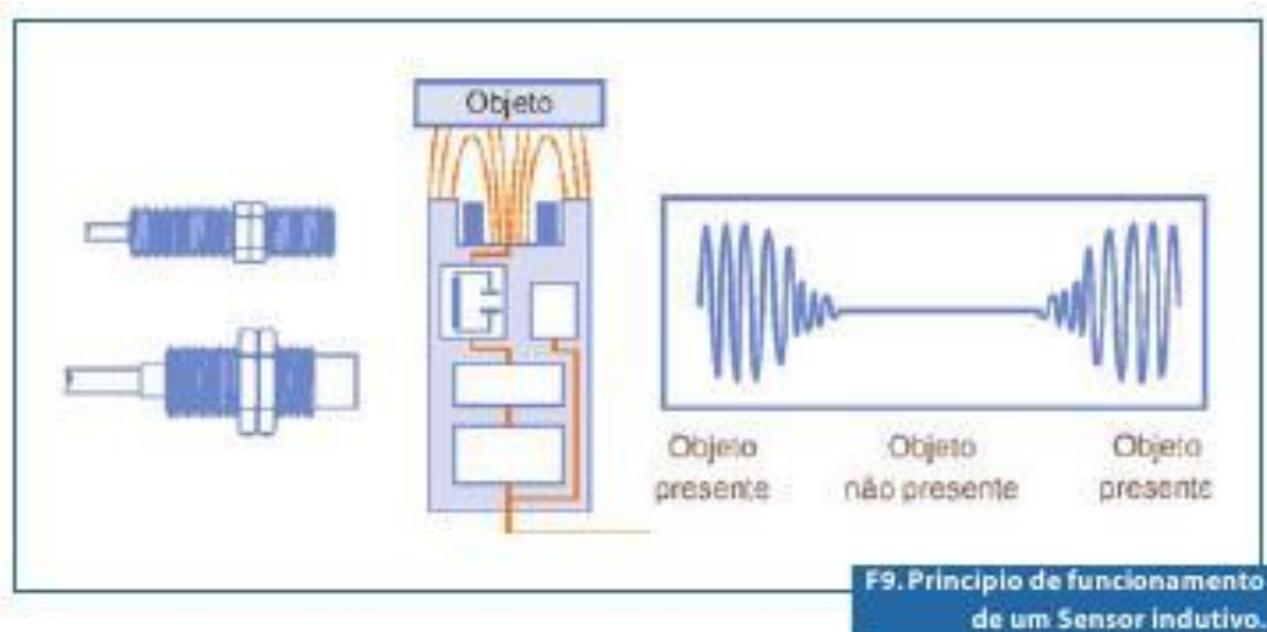
- Uma bobina;
- Um oscilador;
- Um circuito de sincronização;
- Uma saída.



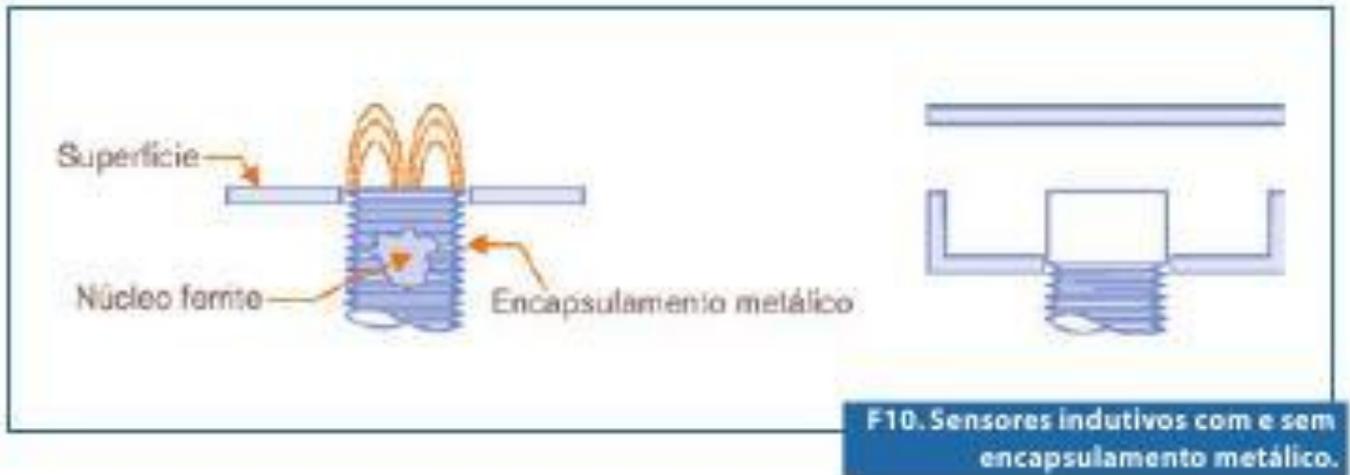
Vejamos o funcionamento de cada um dos componentes que constituem o sensor indutivo.

- O oscilador produz uma tensão alternada que, quando é aplicada à bobina, faz com que esta produza um campo magnético. Quando um objeto metálico perturba esse campo magnético, este decresce de amplitude.
- O circuito de sincronização que está encarregado de monitorar a amplitude do campo magnético, ao perceber a perturbação do campo, faz atuar a saída.
- Retirando o objeto metálico do campo de atuação do sensor, a saída deste retorna ao seu estado normal.

Atente para a figura 9.



As bobinas destes sensores encontram-se enroladas em um núcleo de ferrite e podem estar, ou não, envoltas no encapsulamento metálico do sensor. (figura 10).



O encapsulamento metálico é colocado em volta das bobinas para restringir lateralmente o campo magnético.

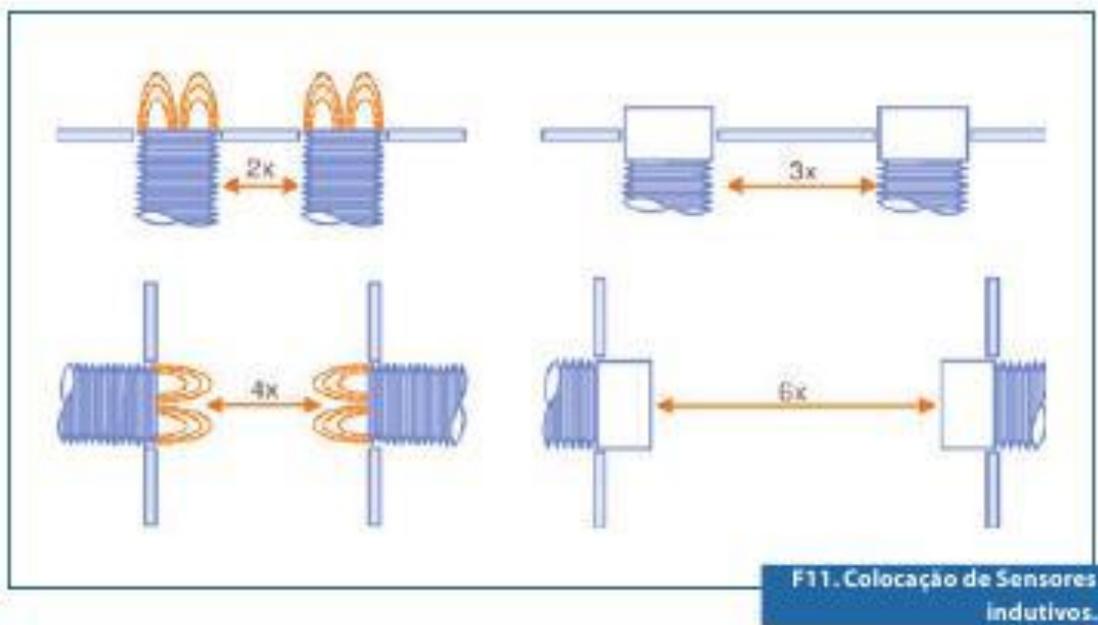
Estes sensores podem ser colocados em suportes de metal, desde que seja salvaguardado o espaço por cima e em torno da superfície de detecção do sensor.

Quando os sensores indutivos não possuírem encapsulamento metálico à volta das bobinas para restringirem o campo magnético lateral, a sua colocação deverá ser feita tendo em atenção que não poderá haver partes metálicas a perturbar o fluxo magnético.

Na colocação de vários sensores indutivos devem ser obedecidas as seguintes regras:

- Na colocação adjacente de sensores, com encapsulamento metálico de proteção das bobinas, deverá ser dado um espaço que não pode ser inferior a duas vezes o diâmetro do sensor;
- Na colocação adjacente de sensores, sem encapsulamento metálico de proteção das bobinas, deverá ser dado um espaço que não pode ser inferior a três vezes o diâmetro do sensor;
- Na colocação frontal de sensores, com encapsulamento metálico de proteção das bobinas, deverá ser dado um espaço que não pode ser inferior a quatro vezes a distância máxima de detecção do sensor;
- Na colocação frontal de sensores, sem encapsulamento metálico de proteção das bobinas, deverá ser dado um espaço que não pode ser inferior a seis vezes a distância máxima de detecção do sensor.

Observe a figura 11.



Os sensores de proximidade indutivos respondem à presença de um objeto metálico quando este está na área de atuação do sensor.

O ponto em que o sensor indutivo reconhece o objeto metálico é denominado de ponto de operação e o ponto em que o sensor deixa de reconhecer o objeto é denominado de ponto de des-operação. (Figura 12).

A área entre estes dois pontos é designada de zona de histerese.

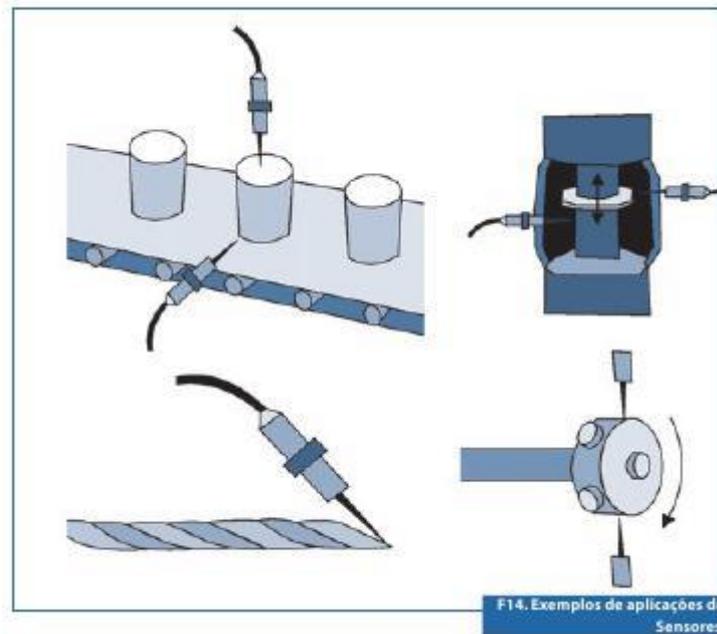
Os sensores indutivos estão disponíveis em vários tamanhos e configurações, de acordo com as várias aplicações industriais. Veja na figura 13.



As aplicações deste tipo de sensores são bastante vastas, exemplificando-se, algumas delas:

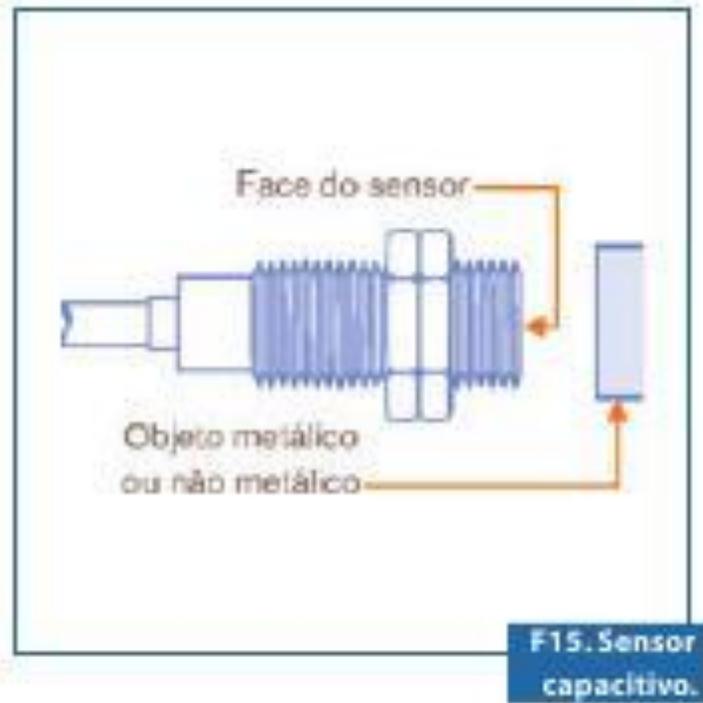
- Detecção de brocas partidas;
- Detecção de parafusos para velocidade ou sentido de rotação;
- Detecção de enlatados e tampas metálicas;
- Detecção de válvulas abertas ou fechadas.

Na sequência, na figura 14, são apresentadas algumas das aplicações dos sensores.



## Sensores Capacitivos

Os sensores de proximidade capacitivos são bastante semelhantes aos indutivos. (Figura 15).



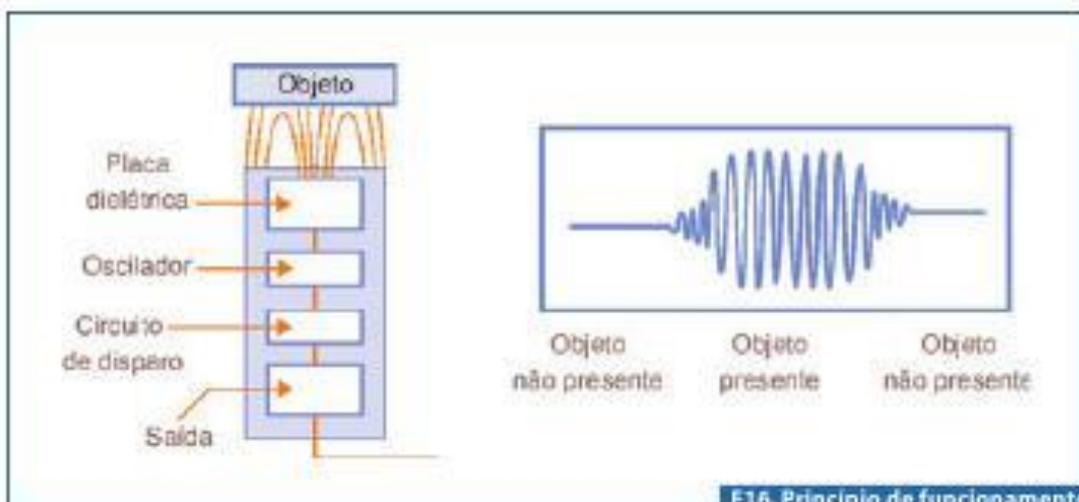
F15. Sensor capacitivo.

Distinguem-se no entanto por, os sensores capacitivos, produzirem um campo eletrostático, em vez de um campo eletromagnético. Além disso, os sensores capacitivos podem detectar objetos metálicos e não metálicos, nomeadamente papel, vidro, plástico, tecido, entre outros.

Os sensores capacitivos são formados por dois eletrodos concêntricos de metal, ou seja, um condensador que se encontra ligado a um circuito oscilador.

Quando um objeto entra no campo eletrostático, formado pelos eletrodos, a capacidade é alterada e o oscilador, monitorizado por um circuito de disparo, ao chegar a uma determinada amplitude faz com que a saída mude de estado.

Quando o objeto sai do campo, a amplitude do oscilador decresce, e o sensor comuta para o seu estado Off. Veja na figura 16.



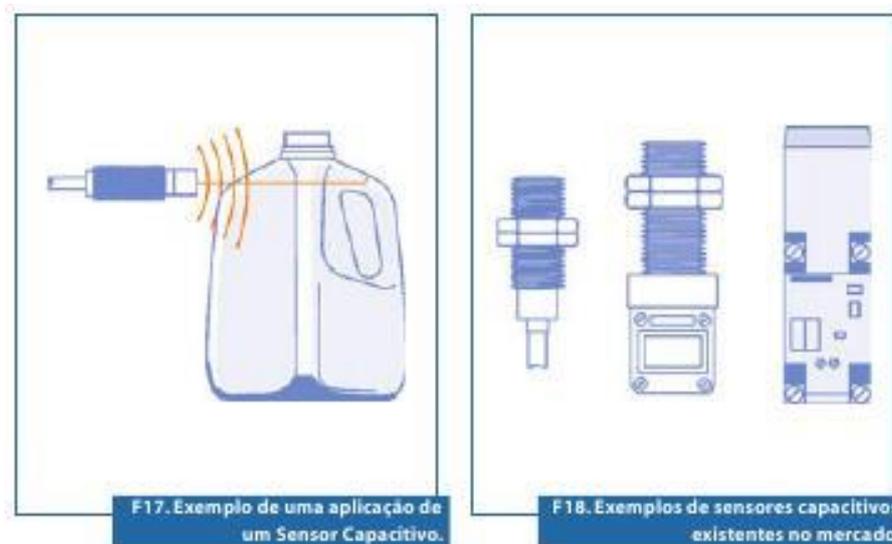
F16. Princípio de funcionamento de um Sensor Capacitivo.

Os sensores capacitivos são especificados em relação ao objeto de detecção, ou seja, quanto maior for a capacidade dielétrica do material a detectar, mais fácil será ao sensor a sua detecção.

Neste tipo de sensores, há que ter o cuidado especial de não os colocar em ambientes úmidos, uma vez que a umidade pode provocar a operação do sensor.

Uma aplicação típica para os sensores capacitivos é a detecção do nível de um líquido através de uma barreira, por exemplo, a água é muito mais dielétrica que o plástico. Este fato, aliado ao de o sensor detectar, com mais facilidade, matérias com uma constante dielétrica superior, faz com que o sensor tenha capacidade de “ver”, através do plástico, o nível da água, conforme mostra a figura 17.

Os sensores capacitivos estão disponíveis em vários tamanhos e configurações, de acordo com as várias aplicações em termos industriais. (Figura 18).



As aplicações destes sensores são bastante vastas. A título exemplificativo enumeram-se as seguintes:

- Detecção de embalagens de papel;
- Detecção de líquidos dentro de embalagens de papel;
- Detecção do nível de líquidos em silos;
- Detecção de todos os componentes não metálicos.

Observe na figura 19.



F19. Exemplos de aplicações de Sensores.

## Sensores Fotoelétricos

O sensor fotoelétrico (figura 20) é um sensor que utiliza luz modulada, refletida ou interrompida pelo objeto que se pretende detectar.



F20. Exemplos de sensores fotoelétricos.

O sensor é composto por um emissor de luz, um receptor para detectar a luz emitida pelo emissor e toda a eletrônica associada e necessária para amplificar o sinal detectado para colocar uma saída em On.

A utilização de uma luz modulada nos sensores fotoelétricos permite o aumento da capacidade de detecção do sensor e, ao mesmo tempo, reduz a interferência da luz ambiente nessa capacidade de detecção.

A modulação da luz é feita em uma frequência específica que pode variar dos 5 a 40 kHz, e de forma a permitir ao sensor distinguir entre a luz modulada e a luz

ambiente.

As fontes de luz utilizadas na elaboração dos sensores fotoelétricos variam tipicamente entre a luz visível verde e os infravermelhos invisíveis. (Figura 21).



**Devido ao grande campo de detecção destes sensores é comum que, quando dois sensores fotoelétricos são colocados próximos, possam interferir entre eles.**

Para evitar interferências, deverá ser efetuado o reajustamento dos sensores, ou, na altura da sua colocação garantir as distâncias mínimas. (Tabela 1).

Modelo de sensor	Distância
D4 mm/ M5	50 mm
M12	250 mm
M18	250 mm
K31	500 mm
K40	750 mm
K80	500 mm
L18	150 mm
L50	30 mm
L50	80 mm

T1. Valores de distância mínimos na colocação dos sensores fotoelétricos de forma a evitar interferências.

O grau de contaminação existente no mundo industrial é de vital importância na altura de escolher a fotocélula a utilizar numa determinada aplicação industrial, ou seja, a sujeira, o pó, o fumo e outros contaminantes ambientais podem, e condicionam, a luz que uma fotocélula tem de utilizar para funcionar corretamente.

Os graus de contaminação ambiental estão divididos em seis escalas, sendo eles:

- Ar limpo (condições ambientais ideais, ou ambiente esterilizado);

- Pouca contaminação (contaminação que não afeta diretamente o local onde as fotocélulas estão colocadas);
- Contaminação pequena (aplicações em indústrias ligeiras ou aplicações de manipulação de materiais acabados);
- Contaminação moderada (existência de umidade elevada ou vapor);
- Contaminação elevada (partículas pesadas no ar, ou existência de ambientes sujeitos a lavagens); Veja aplicação na figura 22.
- Contaminação extrema (ambientes que deixem resíduos nas lentes do sensor). Figura 23.

O ganho de um sensor fotoelétrico representa a quantidade de luz necessária para fazer operar o receptor.

Num ambiente onde as condições de trabalho sejam as ideais, um ganho igual a 1 é geralmente suficiente. Por outro lado, se o grau de contaminação ambiente for tal que se observa 50% da luz emitida pelo sensor, o ganho do sensor deverá ser aumentado para o dobro, de forma a operar o receptor.

O sensor fotoelétrico tem uma zona de atuação baseada no tipo de luz e no diâmetro do emissor. O receptor atuará quando um objeto entrar nessa zona. Repare na figura 24.

O tipo de sensor mais comum, dentro dos sensores fotoelétricos, é o de reflexão difusa.

O emissor e o receptor são encapsulados dentro da mesma peça.

O emissor emite a luz que ao incidir no objeto que se pretende detectar, retorna ao emissor.

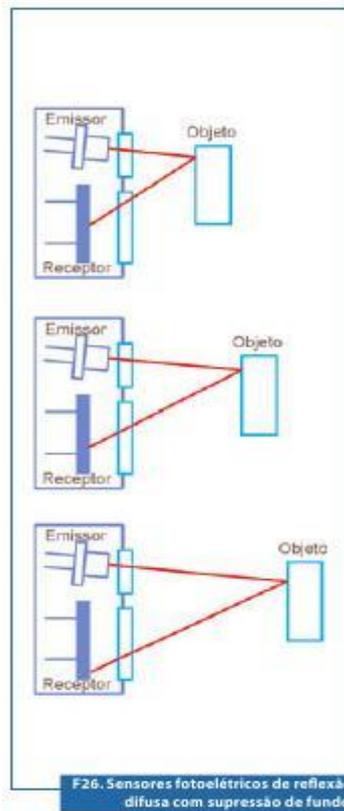
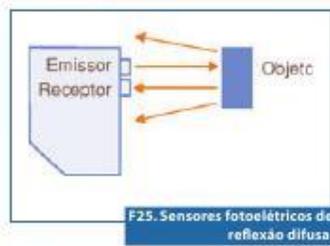
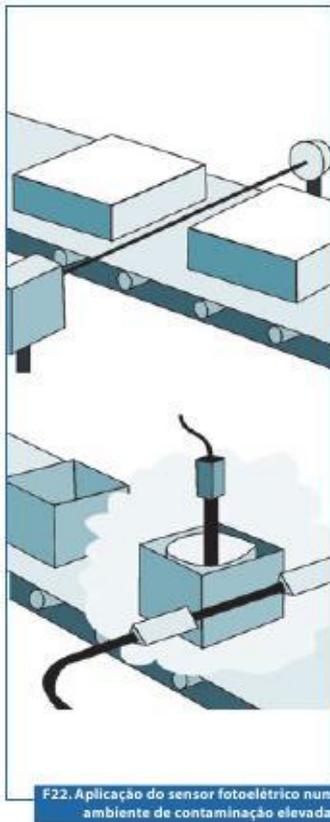
Os sensores de reflexão difusa (figura 25) têm menor alcance que os outros tipos de sensores ópticos, isto porque dependem da luz refletida no objeto.

Os sensores de reflexão difusa com supressão de fundo (figura 26) são usados para a detecção de objetos a uma distância conhecida.

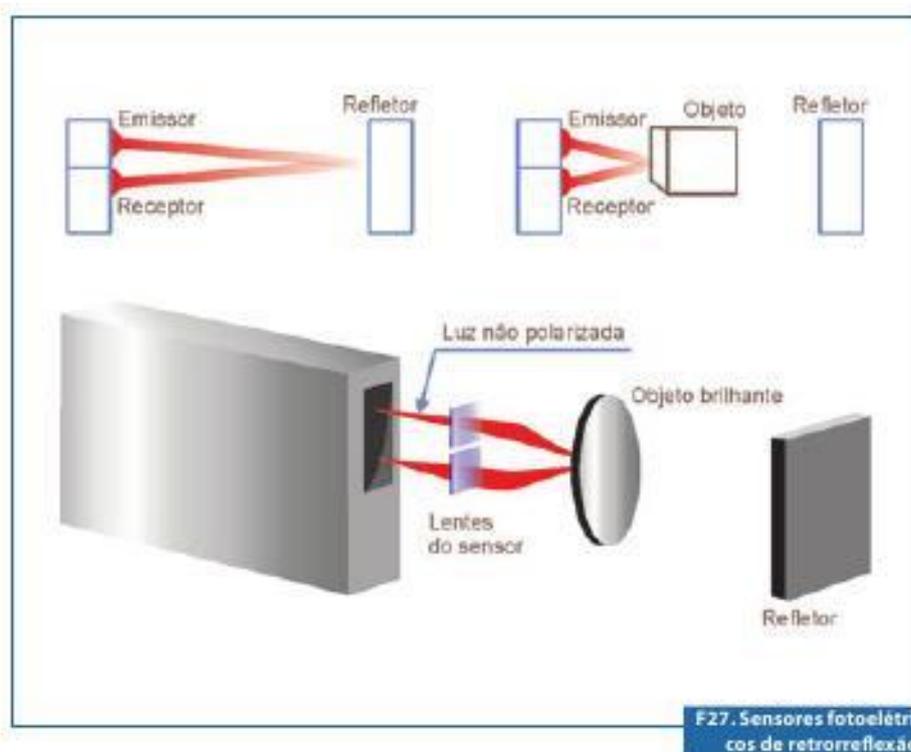
Os objetos que estão para lá da distância de detecção pretendida são ignorados.

Além desta característica, os sensores de reflexão difusa com supressão de fundo são iguais aos sensores de reflexão difusa.

Estes tipos de sensores são similares aos sensores de reflexão difusa, a principal diferença reside, unicamente, no fato de a luz ser refletida num refletor, em vez de ser no objeto.

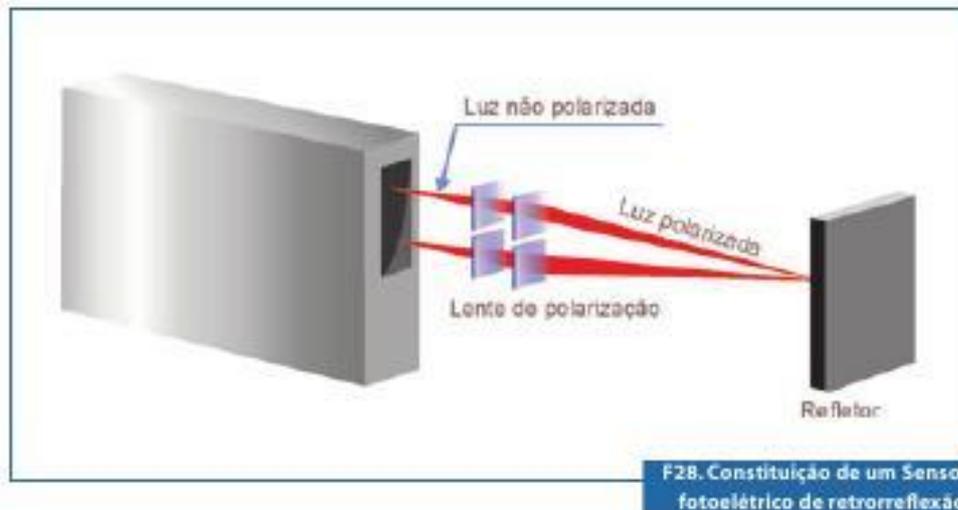


Os sensores de retroreflexão (figura 27) possuem maior alcance que os sensores de reflexão difusa.

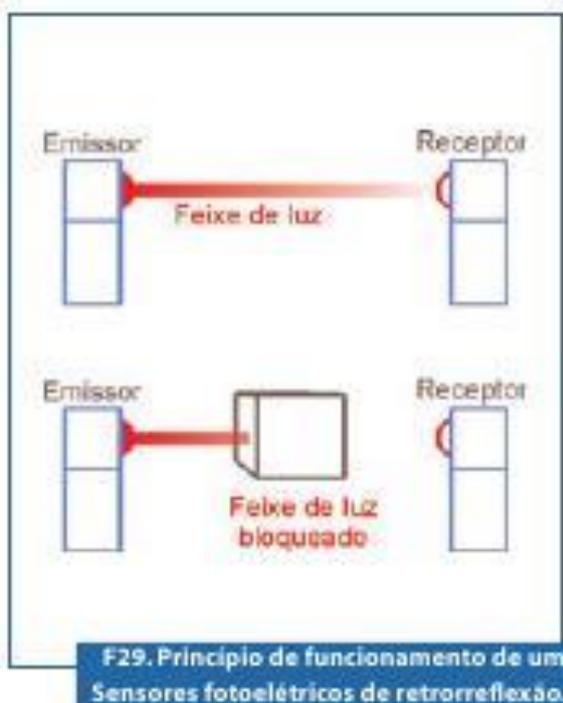


Os refletores são encomendados separados dos sensores, e podem ser pedidos com várias formas.

Estes sensores são especialmente usados na detecção de objetos brilhantes, usando um refletor com pequenos prismas que polarizam a luz do sensor. Veja na figura 28.



Nesta configuração, o emissor e o receptor são encapsulados separadamente. O emissor emite a luz e o receptor recebe a luz do outro lado. Quando um objeto passa entre o emissor e o receptor, o feixe de luz é interrompido e o sensor é atuado. (Figura 29).

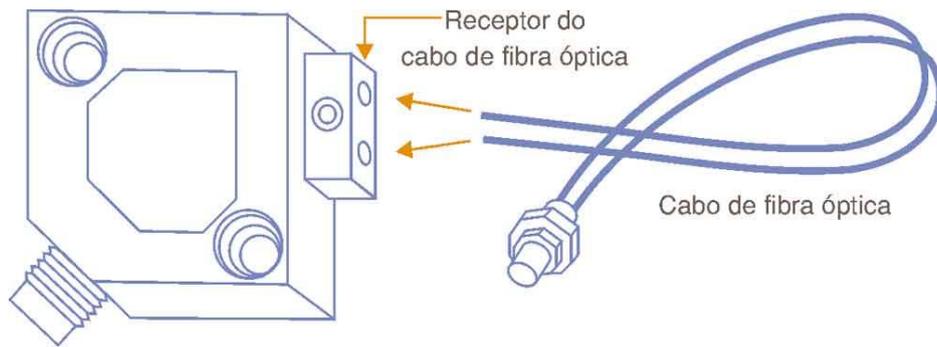


## Bibliografia

- 1) Catálogos OMRON: ([www.omron.pt](http://www.omron.pt))
- 2) Automação industrial - 3 edição - J.Norberto Pires - EDITORA: Lidel
- 3) Autômatas programáveis - Josep Balcells, José Luis Romeral - EDITORA: Marcombo
- 4) Técnicas de automação - João R.Caldas Pinto - EDITORA: Edições Técnicas e Profissionais
- 5) Curso de Automação Industrial - Paulo Oliveira - EDITORA: Edições Técnicas e Profissionais
- 6) Manual de Formação OMRON - Eng.º Filipe Alexandre de Sousa Pereira

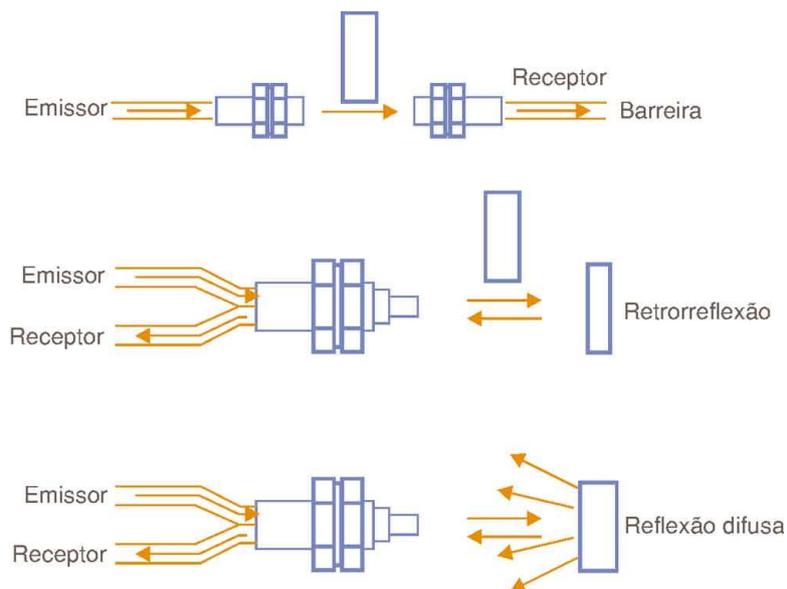
## Sensores de Fibra Óptica

Os sensores de fibra óptica são em tudo idênticos aos sensores anteriormente apresentados, residindo a única diferença na forma de transmissão da luz. Eles têm um emissor, um receptor e um cabo com pequenas fibras que permite a transmissão da luz. **Figura 1.**

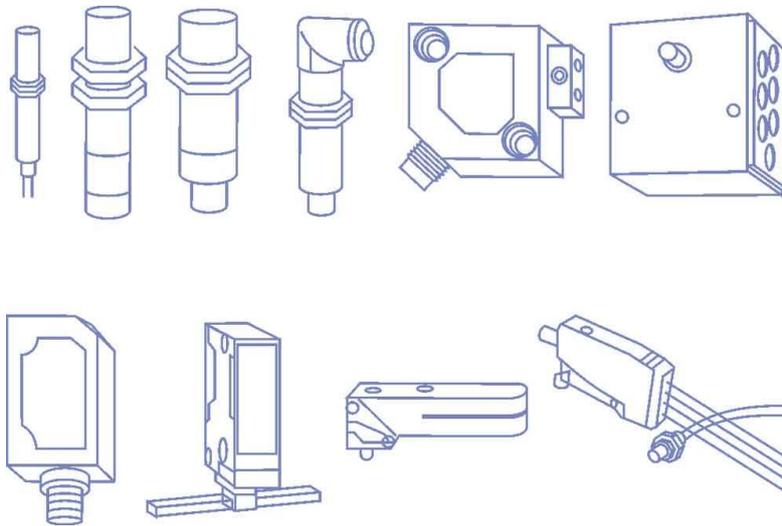


Dependendo do sensor, podem ter um ou dois cabos, sendo neste caso, um para o emissor e outro para o receptor. Quando um só cabo é utilizado, o emissor e o receptor usam diferentes métodos para separar a informação do emissor e receptor.

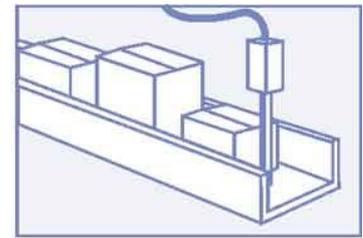
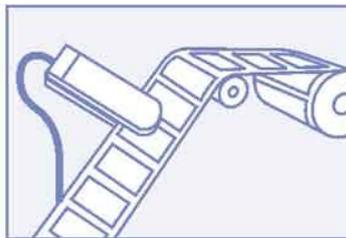
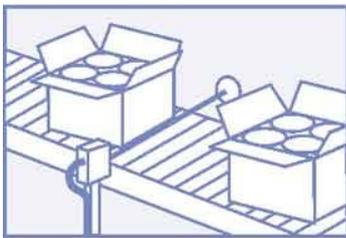
Os sensores de fibra óptica, como foi dito anteriormente, podem ser utilizados como sensores de barreira, sensores de reflexão difusa ou de retroflexão. **Figura 2.**



Os sensores fotoelétricos estão disponíveis em vários tamanhos e configurações para irem de encontro aos requisitos das várias aplicações em termos industriais. **Figura 3.**



As aplicações destes sensores são bastante vastas (**Figura 4**).



A título exemplificativo apresentam-se algumas:

- Orientação de integridades;
- Falta de um terminal num dispositivo integrado;
- Passagem de objetos;
- Contagem de objetos;
- Verificação de etiquetas;
- Orientação de objetos;
- Existência de tampas nas garrafas.

### Sensores Analógicos de Temperatura

Os sinais analógicos caracterizam-se por serem contínuos e não apresentarem pontos não diferenciáveis.

Tome-se como exemplo um sinal de temperatura entre 40 °C e 41 °C em que, a qualquer instante, se tem conhecimento do valor exato de temperatura.

Os sensores analógicos fornecem mais informação sobre um determinado processo do que os sensores digitais.

A saída dos sensores analógicos varia de acordo com as condições a medir e com os módulos de entradas analógicas existentes nos PLCs. **Figura 5**.



Dependendo do intervalo de temperaturas a medir podemos encontrar três dispositivos:

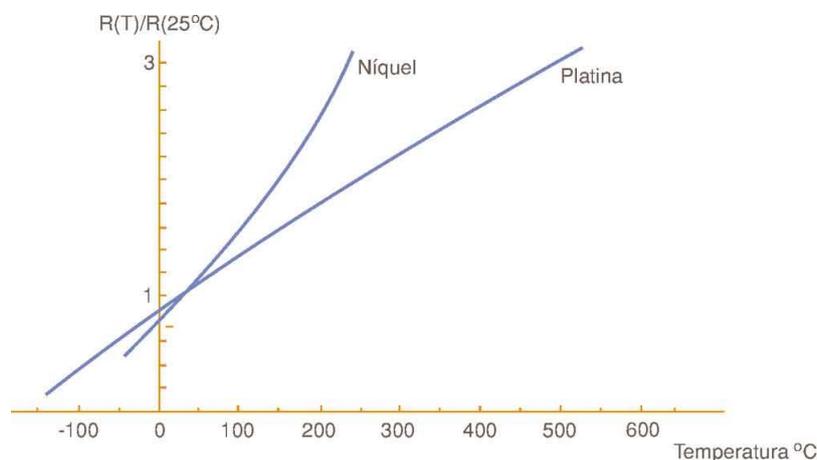
Para margens de temperatura entre  $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , costumam utilizar-se circuitos integrados ou sondas de temperatura, conhecidas como RTD (termorresistência);

Para margens de temperatura entre  $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , costumam utilizar-se dispositivos denominados termobinários;

Para temperaturas superiores a  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$  costumam utilizar-se os sensores denominados pirômetros de radiação.

## RTD

A resistência de um metal é função da vibração dos átomos e, por conseguinte, da temperatura. **Figura 6.**



A expressão analítica da resistência de um material a temperatura constante é a seguinte:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Quando é conhecida a variação da resistividade de um metal com a temperatura, pode determinar-se a variação da resistência desse material. O uso desta equação só é prático quando se deseja uma grande exatidão. Na maioria das aplicações utiliza-se aproximações analíticas das curvas.

### Sensibilidade

A partir dos valores típicos da variação linear relativa da resistência com a temperatura pode fazer-se uma estimativa da sensibilidade da RTD. Para a platina este número é tipicamente da ordem de  $0,004/^{\circ}\text{C}$ , enquanto que para o níquel o valor típico é  $0,005/^{\circ}\text{C}$ . Assim, por exemplo, para uma RTD de platina com 100 ohms, se a temperatura variar  $1^{\circ}\text{C}$  esperar-se-á uma variação de apenas 0,4 ohms.

### Tempo de resposta

Em geral, a RTD tem um tempo de resposta, que pode variar entre 0,5 s a 5 s. Estes valores fornecem-nos o intervalo de tempo de resposta, que se deve esperar, conforme as aplicações.

### Construção

A RTD é, simplesmente, um conjunto de fios cuja resistência é medida em função da temperatura. Em geral, o fio é enrolado em espiral, de forma a obter-se um tamanho reduzido e a melhorar a condutividade térmica, para assim diminuir o tempo de resposta. É frequente encontrar-se a espiral envolvida por uma bainha ou tubo protetor que a protege de ambientes agressivos, mas que aumenta inevitavelmente o tempo de resposta.

### Medições com a RTD

Quando se realizam medidas com a RTD é necessário ter em atenção um parâmetro denominado coeficiente de autoaquecimento (Fsh). Este coeficiente fornece a informação do grau em que a medida da temperatura está errada, por responsabilidade da potência que a resistência da RTD dissipa. É portanto, um coeficiente que nos permite calcular o erro da medição. Este coeficiente é-nos fornecido pelo fabricante, e costuma ser dado em  $[^{\circ}\text{C}/\text{mW}]$ .

## Termopares

O termopar é um dos dispositivos mais comuns na medida de temperaturas em aplicações industriais. **Figura 7.**



Uma grande percentagem de medidas de temperatura tem como base a dependência do comportamento elétrico dos materiais com a temperatura. Este é o efeito característico de um transdutor gerador de tensão em que é produzida uma força eletromotriz (f.e.m.) que é proporcional à temperatura. Verifica-se que a f.e.m. é quase linear com a temperatura e muito reproduzível para os mesmos materiais. Os dispositivos que medem a temperatura, com base neste princípio termoelétrico, chamam-se termopares.

### Efeitos termoelétricos

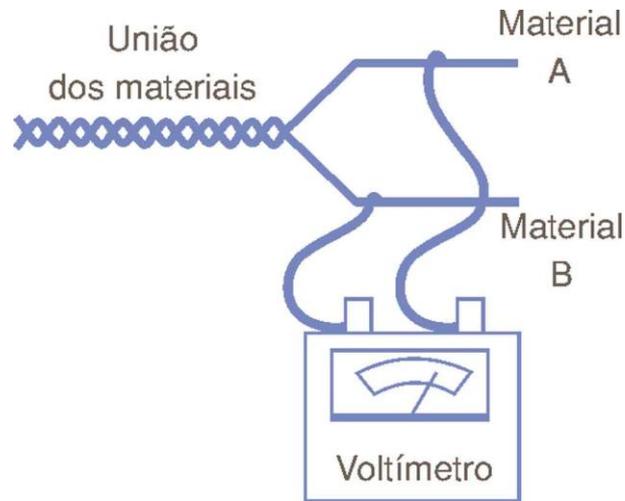
A teoria básica do efeito termoelétrico deriva de considerações sobre as propriedades de transporte elétrico e térmico dos diferentes metais.

Em particular, quando estes mantêm uma diferença de temperatura entre dois pontos de um dado metal.

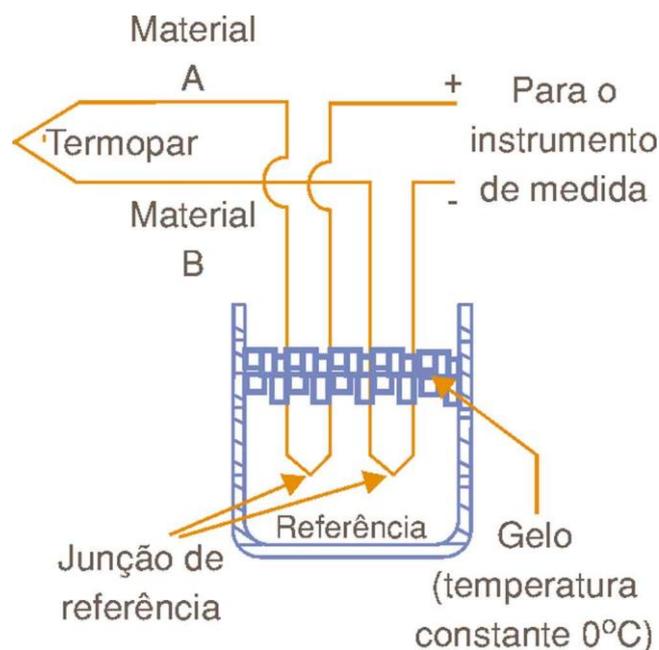
Esta diferença de potencial está relacionada com o fato de os elétrons, na extremidade mais quente do material, terem mais energia térmica que os da extremidade mais fria.

Este deslocamento varia para metais diferentes à mesma temperatura, devido a diferenças nas respectivas condutividades térmicas.

Fechando-se um circuito, ligando as extremidades por meio de um condutor, verifica-se que passa uma corrente na malha fechada. **Figura 8.**



Para usar o efeito de Seebeck, como base de um transdutor de temperatura, é necessário estabelecer uma relação definitiva entre a f.e.m., medida no termopar, e a temperatura desconhecida. **Figura 9.**



A figura seguinte mostra que a junção de medida TM, está exposta ao ambiente cuja temperatura se vai medir.

Esta junção é formada pelos metais A e B, formando-se, em seguida, duas outras junções com um metal comum, que depois liga ao aparelho de medida.

As junções com o metal são denominadas junções de referência, e são mantidas a uma temperatura comum conhecida por temperatura de referência (TR).

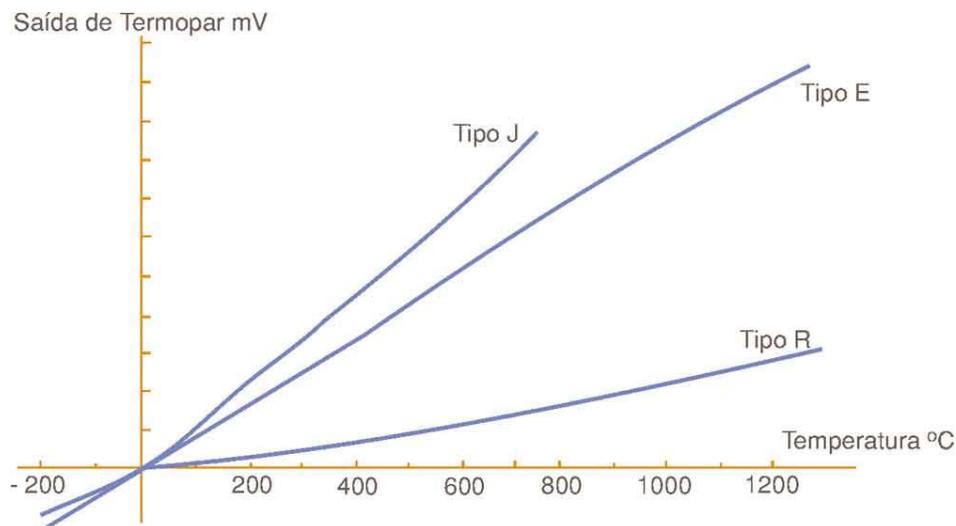
## Tipos de termopares

Foram adotadas algumas configurações- padrão usando metais (ou ligas de metais) especificados e foram-lhes atribuídas letras para designação. **Tabela 1.**

Tipo	Materiais	Gama Normal
J	Ferro-Constantan	-190 a 760 °C
T	Cobre-Constantan	-200 a 371 °C
K	Chromel-Alumel	-190 a 1260 °C
E	Chromel-Constantan	-100 a 1260 °C
S	90% Platina + 10% Ródio-Platina	0 a 1482 °C
R	87% Platina + 13% Ródio-Platina	0 a 1482 °C

**T1. Tipos de Termopares.**

Cada tipo tem as suas características particulares como a gama de trabalho, a linearidade, a inércia a ambientes hostis, a sensibilidade, etc. **Figura 10**



## Tabelas de termopares

As tabelas de termopares dão simplesmente a tensão que resulta para um tipo particular de termopar, quando as junções de referência estão a uma determinada temperatura de interesse, e a junção de medida a uma dada temperatura. Na maioria dos casos, a temperatura de referência das tabelas é 0 °C.

Por exemplo, para um termopar do tipo J, e a junção de medida a 210 °C, a tensão é:

$$V(210\text{ °C}) = 11,34\text{ mV}$$

## Sensibilidade

A gama de tensões dos termopares é geralmente inferior a 100 mV. A sensibilidade real depende fortemente do tipo de condicionamento de sinal utilizado e do próprio termopar.

## Construção

O termopar é apenas a junção soldada ou enrolada, de dois metais. No entanto, há casos em que o termopar é colocado numa bainha protetora, ou mesmo selado em vidro, para ficar isolado de um ambiente hostil.

## Condicionamento de sinal

O elemento crítico no uso de termopares é a tensão de saída, é muito pequena. É necessário uma grande amplificação para aplicações práticas. Além disso, os níveis baixos do sinal tornam os dispositivos susceptíveis ao ruído elétrico, pelo que, na maioria dos casos, o termopar é usado com um amplificador operacional de alto ganho.

## Ruído

O maior obstáculo ao uso dos termopares para medir temperaturas na indústria é a sua susceptibilidade ao ruído elétrico. As tensões geradas são geralmente inferiores a 100 mV.

Um termopar constitui uma excelente antena para captar o ruído da radiação eletromagnética nas bandas de rádio, TV e microondas.

Para usar corretamente os termopares na indústria utilizam-se várias técnicas de redução de ruído, sendo as mais correntes as seguintes:

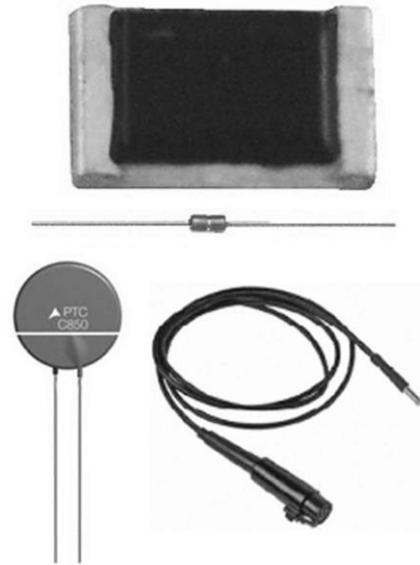
Os fios de extensão ou de ligação do termopar para a junção de referência ou sistema de medida são enrolados e embrulhados com uma bainha de folha metálica ligada à terra.

Usa-se no condicionador de sinal um amplificador de instrumentação, uma vez que este possui uma boa rejeição de modo comum.

O uso de filtros, sendo o mais comum o filtro passabaixa devido ao ruído industrial ter duas gamas fundamentais de frequências: a de 50 Hz e a de 40 kHz.

## Termistores

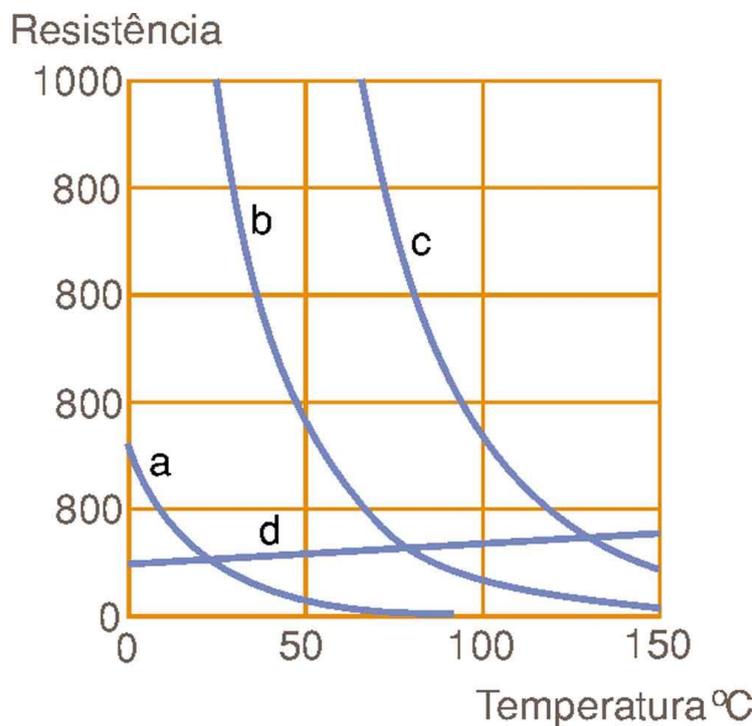
As substâncias que são sensíveis à temperatura são, usualmente, designadas por termistores. **Figura**



São produzidas com base em miniaturas sintetizadas de óxidos metálicos com propriedades semicondutoras.

Os termistores, como propriedade básica, apresentam elevado coeficiente de resistência a temperaturas negativas.

Para cada valor de temperatura o termistor apresenta um determinado valor de resistência, variando entre 5000  $\Omega$  a 0  $^{\circ}\text{C}$  e os 100  $\Omega$  a 150  $^{\circ}\text{C}$ . **Figura 12**



Termistor a,  $R_{25}=100\Omega$

Termistor b,  $R_{25}=1000\Omega$

Termistor c,  $R_{25}=5000\Omega$

### Principais características:

- Não lineares com sensibilidade elevada;
- Faixas de operação (-100 °C a +300° C);
- Tamanhos e formas bastante variados (0,005” a 0,05” de diâmetro).

### Junção PN

A temperatura fornece energia para que os elétrons da banda de valência passem para a banda de condução, o que aumenta o número de portadores na região de depleção diminuindo a resistência da junção.

Basicamente, são diodos ou transistores sob polarização direta associados aos seus condicionadores de sinal, em função da necessidade de ajuste individual do sistema para cada sensor. **Figura 13**

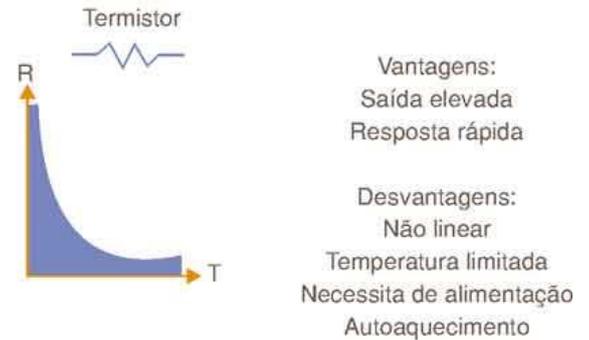
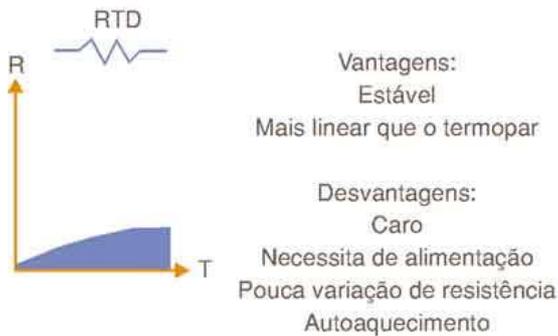
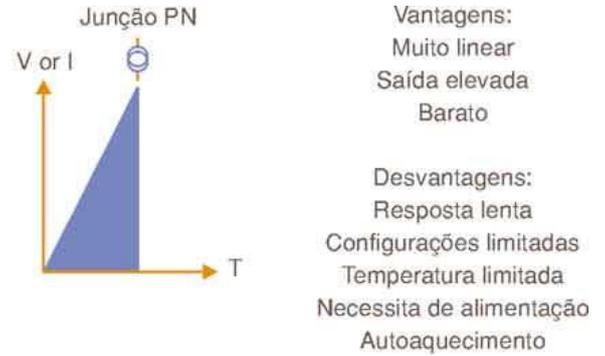
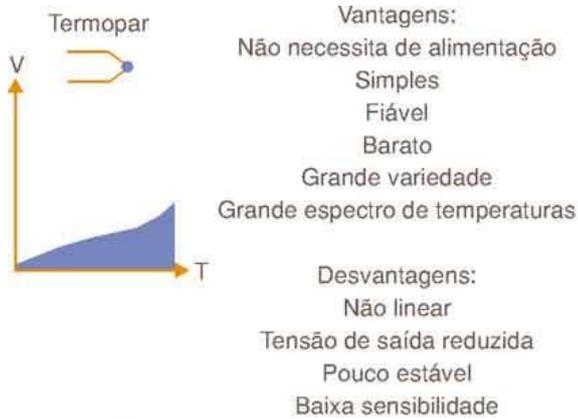


### Instalação de sensores

Uma das principais características, que deve ser tida em conta na altura da instalação de sensores com saídas a transistores, é a corrente máxima que estes elementos conseguem fornecer.

O limite máximo está geralmente compreendido entre os 50 e os 200 mA.

Se a carga aplicada ao sensor tiver uma necessidade de corrente superior à corrente máxima que o sensor consegue debitar, este pode queimar.

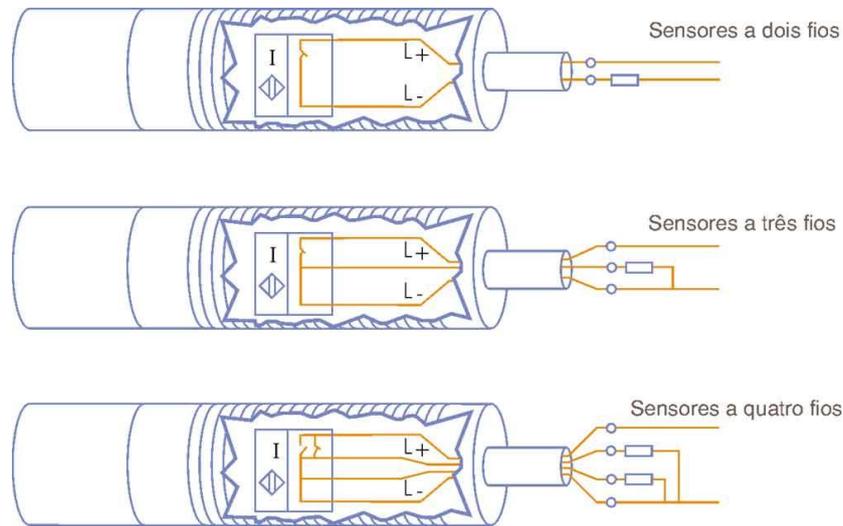


Os módulos de entrada dos PLCs, por exemplo, têm necessidades de corrente dentro da gama de correntes máximas que os sensores conseguem fornecer. Os sensores com saídas a relés conseguem fornecer uma corrente de saída superior aos restantes sensores, tipicamente 3A.

Se na altura de instalação do sensor for detectado que, junto a ele, passam cabos de alta tensão, o cabo de sinal do sensor deverá ser protegido para que este não apresente um comportamento errôneo ou capte sinais falsos.

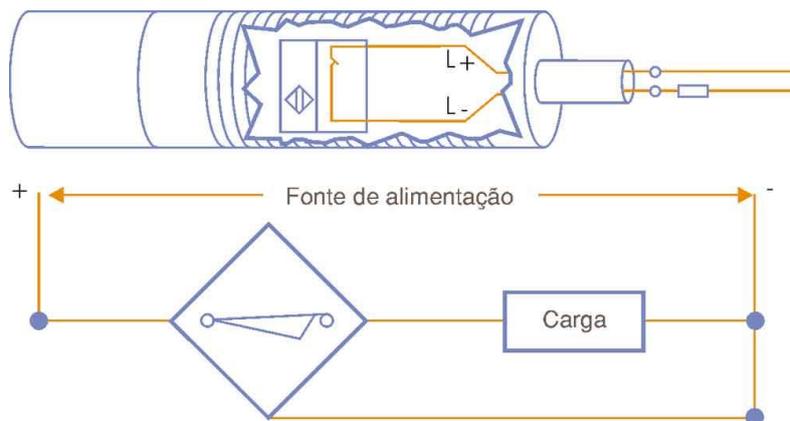
Os sensores indutivos ou capacitivos deverão ser instalados, tendo o cuidado de estes não detectarem a superfície onde estão instalados. Além disso, quando forem instalados mais do que um sensor na mesma zona, a distância entre eles deverá ser respeitada.

Os sensores digitais existentes na indústria tendem a ser padronizados e, regra geral apresentam-se quase sempre com a configuração de dois, três ou quatro fios. **Figura**



## Sensores a dois fios

Os sensores a dois fios requerem, para o seu funcionamento, uma fonte de alimentação externa, sendo o sensor ligado ao positivo e negativo da fonte de alimentação, com a carga ligada entre o sensor e um dos lados da fonte de alimentação. A polaridade da ligação depende do modelo do sensor. **Figura 16**



Os sensores a três fios podem ser do tipo PNP ou NPN dependendo do transístor que internamente tenham para fazer a comutação do sinal.

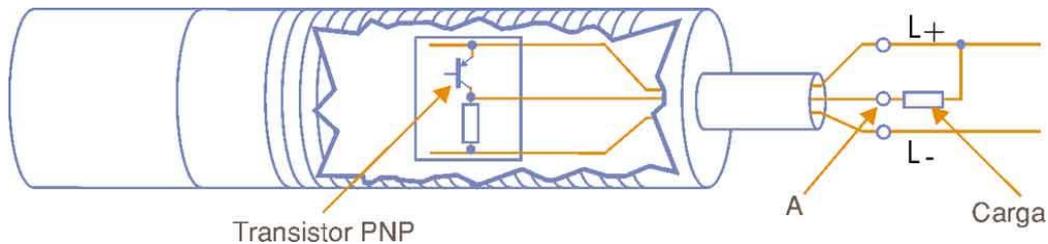
## Sensores PNP

Nos sensores PNP, a carga deverá ser ligada entre o terminal de saída de sinal do sensor e o polo negativo da fonte de alimentação.

O transístor interno do sensor, quando atuado, ligará o polo positivo da fonte de alimentação à carga do sensor, provendo, desta forma, um caminho para a corrente fluir do polo positivo da fonte para a carga (sentido convencional da corrente).

## Sensores a três fios

Sabe-se que, efetivamente, a corrente circula do polo negativo para a carga (sentido real da corrente). Este fato costuma suscitar algumas confusões que poderão ser facilmente dissipadas se for associado o P (NP), a saída Positiva do sensor quando este está ativo. **Figura 17**

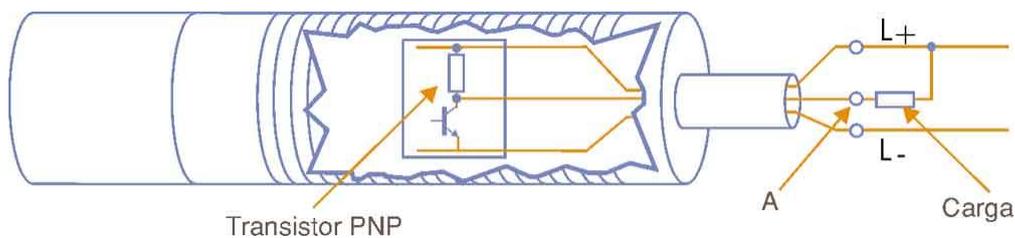


## Sensores NPN

Nos sensores NPN, a carga deverá ser ligada entre o terminal de saída de sinal do sensor e o polo positivo da fonte de alimentação.

O transistor interno do sensor, quando atuado, ligará o polo negativo da fonte de alimentação à carga do sensor provendo, desta forma, um caminho para a corrente fluir do polo positivo da fonte para a carga (sentido convencional da corrente).

Analogamente ao caso anterior, se for associado o N (PN), a saída Negativa do sensor quando este está ativo, não será feita nenhuma confusão. **Figura 18**

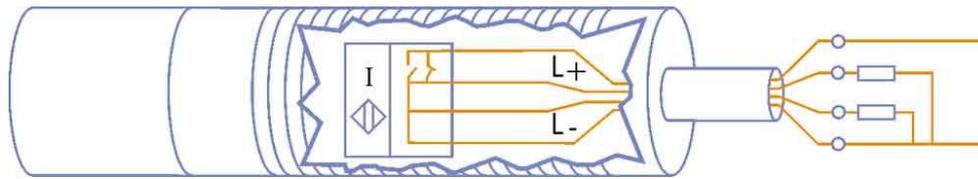


As saídas dos sensores são consideradas, normalmente abertas ou fechadas, tendo em conta o estado do transistor interno quando o sensor não está captando nenhum objeto.

Por exemplo, se a saída de um sensor PNP estiver em Off quando não é detectado nenhum objeto, o sensor é considerado normalmente aberto. Por outro lado, se o mesmo sensor tiver a saída On, quando não é detectado nenhum objeto, este será considerado normalmente fechado.

## Sensores a quatro fios

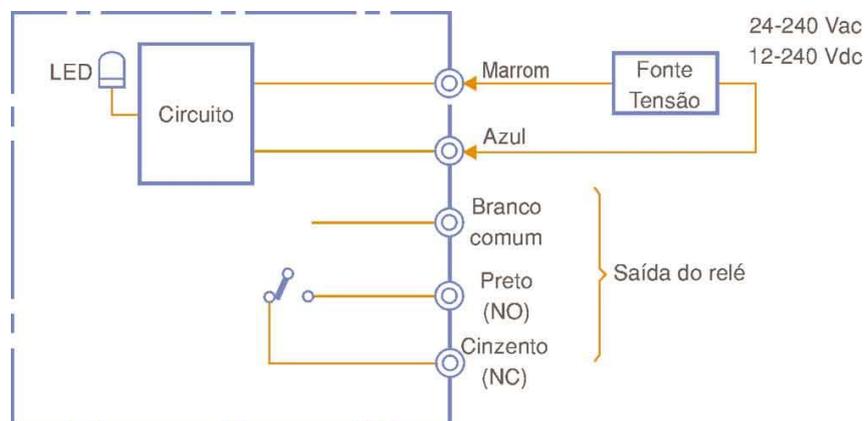
Os sensores com saídas a quatro fios têm, no mesmo sensor, uma saída normalmente aberta e outra normalmente fechada. **Figura 19**



## Sensores com saída a relé

Os sensores com saída a relé são bastante comuns no meio industrial, pela sua elevada robustez e simplicidade de funcionamento.

São geralmente compostos por cinco fios: dois de alimentação (marrom e azul) e os restantes as saídas normalmente aberta e/ou fechada do relé. **Figura 20**



Para sinalizar o seu estado, estes sensores costumam trazer incorporado um LED emissor de luz.

## Transmissão e condicionamento de sinal

O sinal proveniente dum transdutor pode ser transmitido por tensão, por corrente ou por frequência.

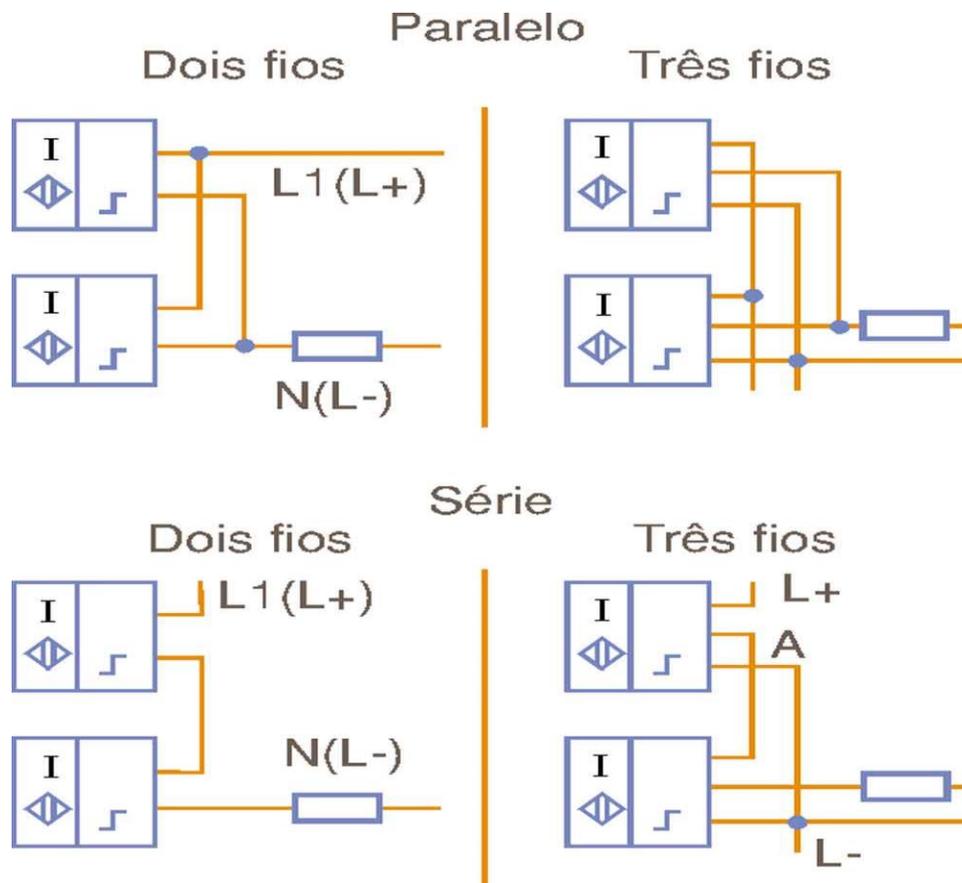
Sendo o último o menos utilizado, falar-se-á essencialmente nos outros modos de transmissão de sinal.

Existe uma regra prática que refere que, se a transmissão do sinal for feita por cabo, numa distância inferior a 10 m, pode fazer-se a transmissão do sinal em tensão, e se essa distância for superior a 10 m, a transmissão tem de ser feita em corrente.

Os valores padronizados para a transmissão em corrente são:

$I_{\min} = 4[\text{mA}]$  Regra estabelecida para que o valor de  $I_{\min} = 0 [\text{A}]$  não seja confundido com a ruptura de um cabo.

A transmissão por tensão pode ser feita se a distância entre o transdutor e o restante equipamento for inferior a 10 m.



## Links de vídeos exemplos de automação:

AS MÁQUINAS DE FÁBRICA MAIS INCOMUNS E AS FERRAMENTAS MAIS GENIAIS:

<https://youtu.be/qZHY4irr6pw?t=217>

Como são fabricados parafusos e porcas:

<https://youtu.be/wzAexYWLmHE?t=172>

LAMINADORA TRIFEM ALIMENTAÇÃO AUTOMÁTICA - 2 ROSCAS SIMULTÂNEAS:

<https://youtu.be/mZoex6UecJ0?t=3>

Linha de Produção Automática:

<https://youtu.be/FH-6fIAsJ3Y?t=39>

Máquina de montagem SMD em placa de circuito | PCB \ PCI:

<https://youtu.be/2Ms3u31idxQ?t=167>

Modern Food Processing Technology with Cool Automatic Machines:

<https://youtu.be/zAYYDLZMos?t=105>