

# Conceitos Básicos de Automação

## Transdutores e Sensores I

---

MEC1515

SISTEMAS HIDRÁULICOS E PNEUMÁTICOS

GIORGIO ANDRÉ BRITO OLIVEIRA



# Transdutores e Sensores

---

# Transdutores e Sensores

---

Transdutor é um dispositivo que recebe um sinal de entrada na forma de uma grandeza física e fornece um sinal de saída da mesma espécie ou diferente.

# Transdutores e Sensores

---

Em geral, os transdutores transformam a informação da grandeza física, que corresponde ao sinal de entrada, em um sinal elétrico de saída.

# Transdutores e Sensores

---

Por exemplo, um transdutor de pressão transforma a força provocada pela aplicação de uma pressão sobre uma membrana em uma tensão elétrica proporcional à pressão.



# Transdutores e Sensores

---

O sensor, por sua vez, é a parte sensível do transdutor.

Na maioria das vezes o transdutor possui um circuito eletrônico para a geração de um sinal elétrico que depende do nível de energia da grandeza física que afeta o sensor.



# Transdutores e Sensores

---

Com relação ao exemplo do transdutor de pressão, o sensor seria apenas o elemento sobre o qual é exercida a pressão que se está monitorando.

Usualmente o termo Sensor é usado como sendo o mesmo que Transdutor.

# Transdutores e Sensores

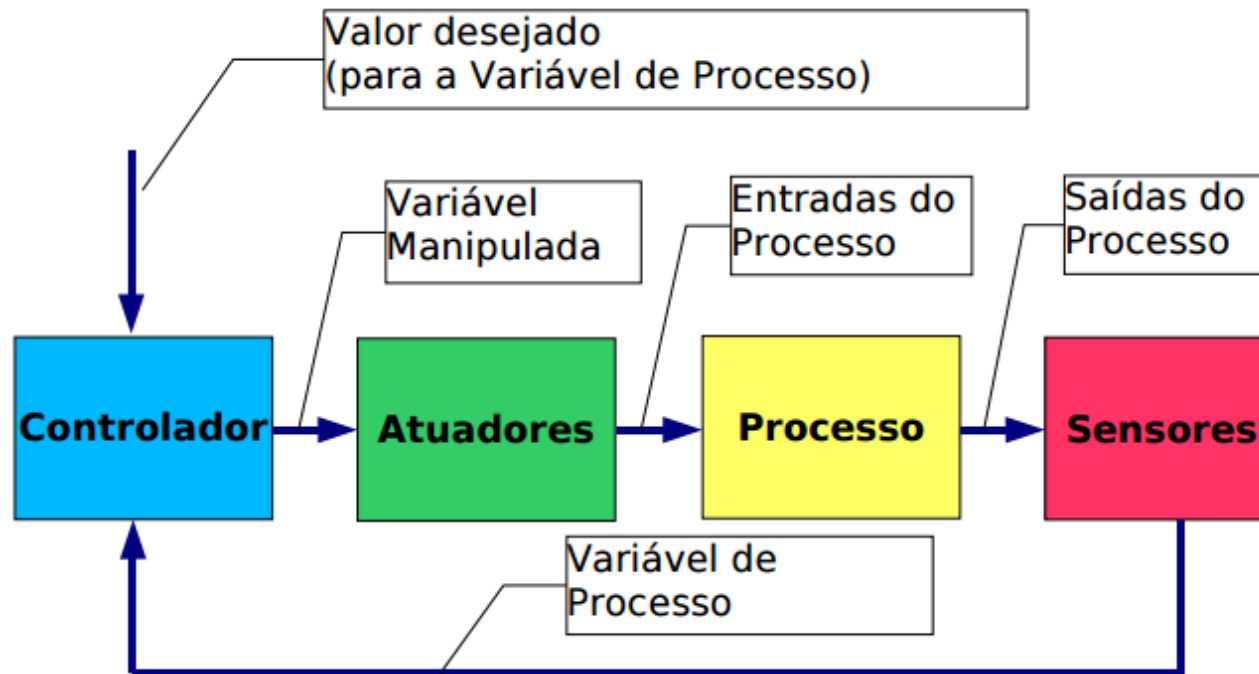
De acordo com o que foi exposto, os sensores são como os órgãos dos sentidos dos sistemas de automação, pois transformam os efeitos físicos em sinais de saída.





# Transdutores e Sensores

É através dos sensores que o controlador monitora o processo através da cadeia de comando.



# Classificação dos Sensores

---

# Classificação dos Sensores

---

Os diversos tipos de sensores podem ser classificados de acordo com sua aplicação em:

- Sensores de Posição
- Sensores de Velocidade Angular
- Sensores de Presença
- Sensores de Carga
- Sensores de Pressão
- Sensores de Temperatura
- Sensores de Vazão
- Sensores de Nível

# Sensores de Posição

---

# Sensores de Posição

---

Reportam a posição física de um componente com respeito a um ponto de referência.

Essa informação pode ser linear ou angular.

Os sensores mais comumente utilizados são:

- Potenciômetro;
- Encoder;
- LVDT.

# Sensores de Posição

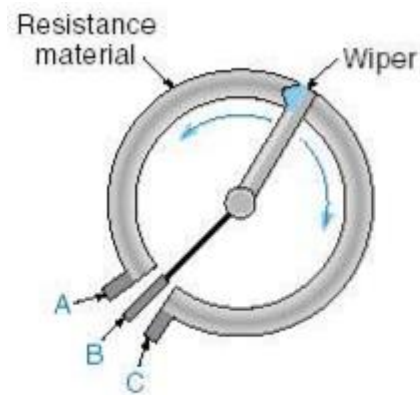
---

POTENCIÔMETRO

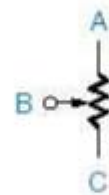
# Potenciômetro

Um potenciômetro é um componente eletrônico que possui resistência elétrica ajustável.

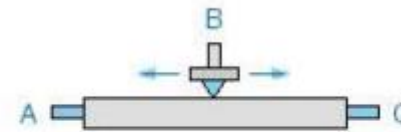
Ele converte o deslocamento linear ou angular em variação de resistência.



(a) Rotary pot



(b) Symbol



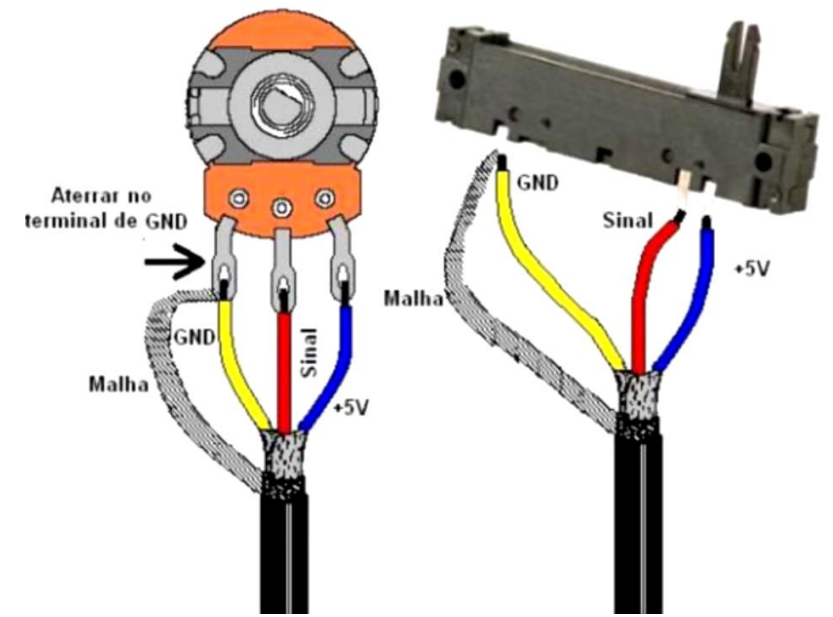
(c) Linear-motion pot

# Potenciômetro

Geralmente, é um resistor de três terminais onde a conexão central é deslizante e manipulável.

## Como Funciona um Potenciômetro

- [https://www.youtube.com/watch?v=hKattY\\_7lWU](https://www.youtube.com/watch?v=hKattY_7lWU)





# Potenciômetro

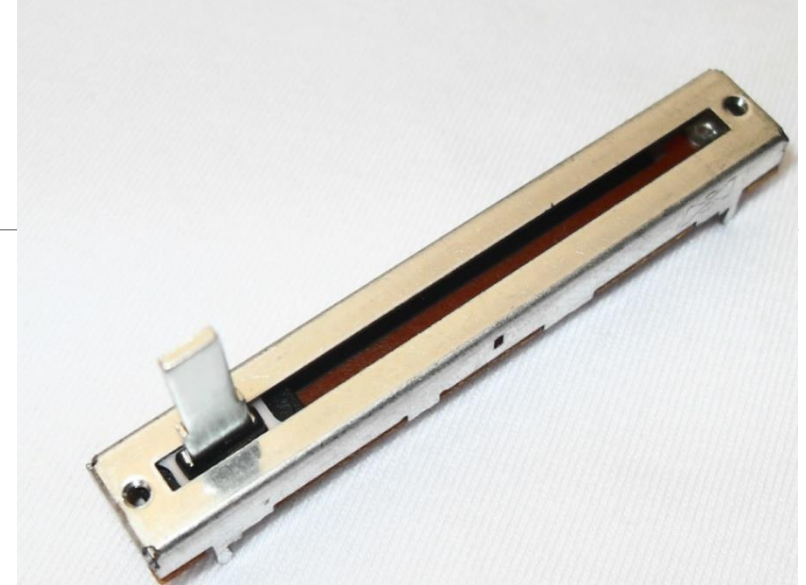
---

Comercialmente existem potenciômetros confeccionados com substrato em fio e carvão condutivo, a depender da corrente elétrica que circula nestes.

Há potenciômetros cujo giro é de 270 graus e outros de maior precisão chamados multivoltas.

# Potenciômetro

---



# Sensores de Posição

---

ENCODER

# Encoder

---

Dentre os sensores que atuam por transmissão de luz, além dos já vistos, há os encoders (codificadores), que determinam a posição através de um disco (encoder rotativo) marcado.

Nos encoders, têm-se uma fonte de luz, um receptor e um disco perfurado, que irá modular a recepção da luz.



# Encoder

---

O disco é preso a um eixo, de forma a criar um movimento rotacional, enquanto que a fonte de luz e o receptor estão fixos.

A rotação do disco cria uma série de pulsos pela interrupção alternada da luz emitida ao detector.

Estes pulsos de luz são transformados pelo detector em uma série de pulsos elétricos.

A frequência do pulso é diretamente proporcional ao número de rotações no intervalo de tempo, e ao número de furos ao longo do disco.

# Encoder Incremental

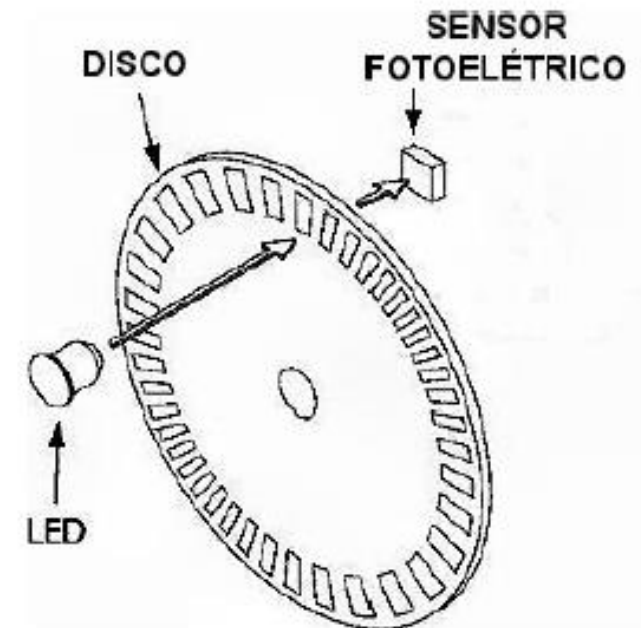
---

Nos encoders incrementais, a posição é demarcada por contagem de pulsos transmitidos, ao longo do tempo.

Os encoders óticos incrementais fornecem a quantidade de movimento executada pelo eixo, começando do momento em que o computador é ativado e o movimento começa.

Se o sistema é desligado ou ocorre uma queda de energia, a informação da localização do eixo de movimento é perdida.

# Encoder Incremental



# Encoder Absoluto

---

Os encoders óticos absolutos fornecem informações mais rigorosas que os encoders óticos incrementais.

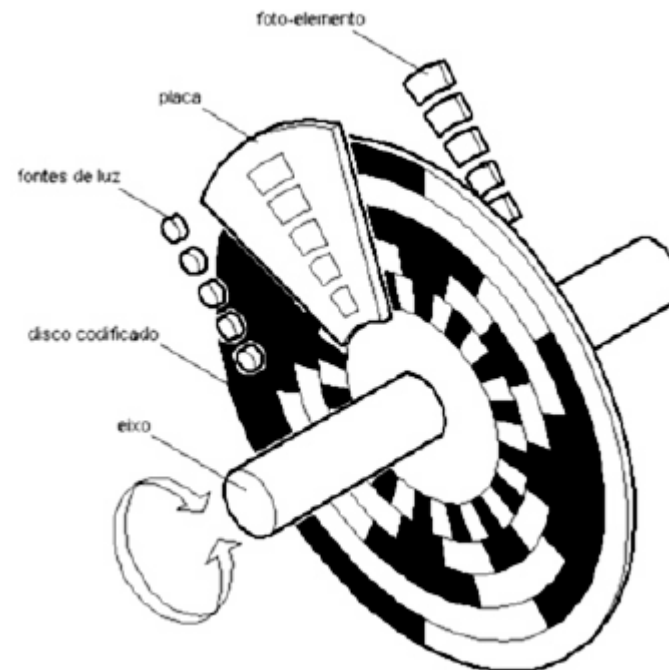
Eles possuem a capacidade de informar a posição física do eixo assim que ele é ativado, sem a necessidade de fixação da posição inicial.

Isto é possível porque o encoder transmite, para o controlador, um sinal com valor específico (codificado) diferente para cada posição angular do eixo.



# Encoder Absoluto

<http://www.youtube.com/watch?v=cn83jR2mchw>



# Sensores de Posição

---

LVDT

A solid blue horizontal bar spanning the width of the slide at the bottom.

# LVDT

---

O LVDT (*Linear Variable Differential Transformer* ou Transformador Diferencial Variável Linear) é um sensor para medição de deslocamento linear.

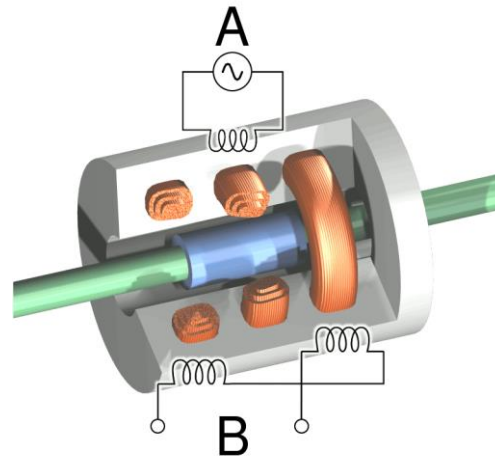
O funcionamento desse sensor é baseado em três bobinas e um núcleo cilíndrico de material ferromagnético de alta permeabilidade.

O sinal de saída é linear e proporcional ao deslocamento do núcleo, que está fixado ou em contato com o que se deseja medir.

# LVDT

A bobina central é chamada de primária e as demais são chamadas de secundárias.

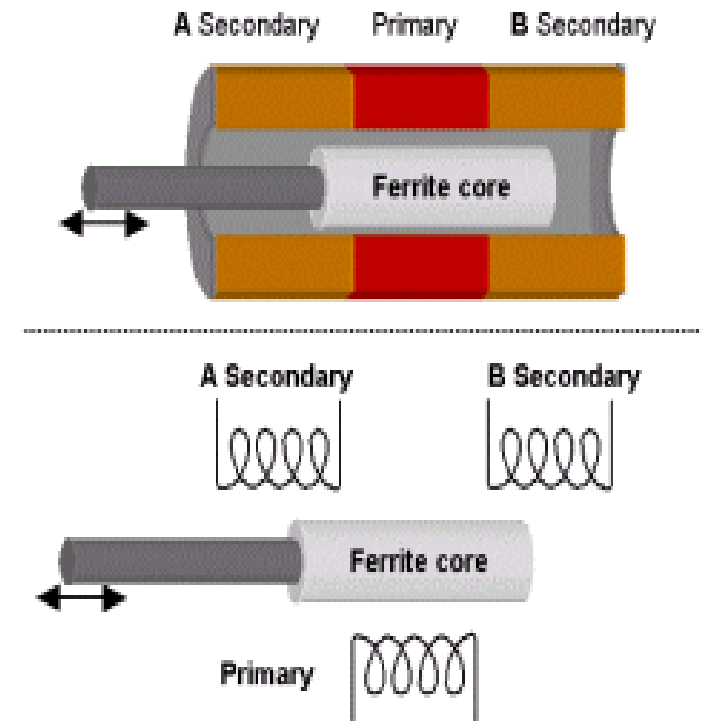
O núcleo é preso no objeto cujo deslocamento se deseja medir e a movimentação dele em relação às bobinas é o que permite esta medição.



# LVDT

Uma corrente alternada é aplicada na bobina primária, fazendo com que uma tensão seja induzida em cada bobina secundária.

De acordo com a movimentação do núcleo, as tensões induzidas nas bobinas secundárias mudam.



# LVDT

---

Quando o núcleo está na posição central, eqüidistante em relação às duas bobinas secundárias, tensões de mesma amplitude porém opostas são induzidas nestas duas bobinas.

Assim, a tensão de saída é zero.

# LVDT

---

Quando o núcleo é movimentado em uma direção, a tensão em uma das bobinas secundárias aumenta enquanto a outra diminui, fazendo com que a tensão aumente de zero para um máximo.

- Esta tensão está em fase com a tensão primária.

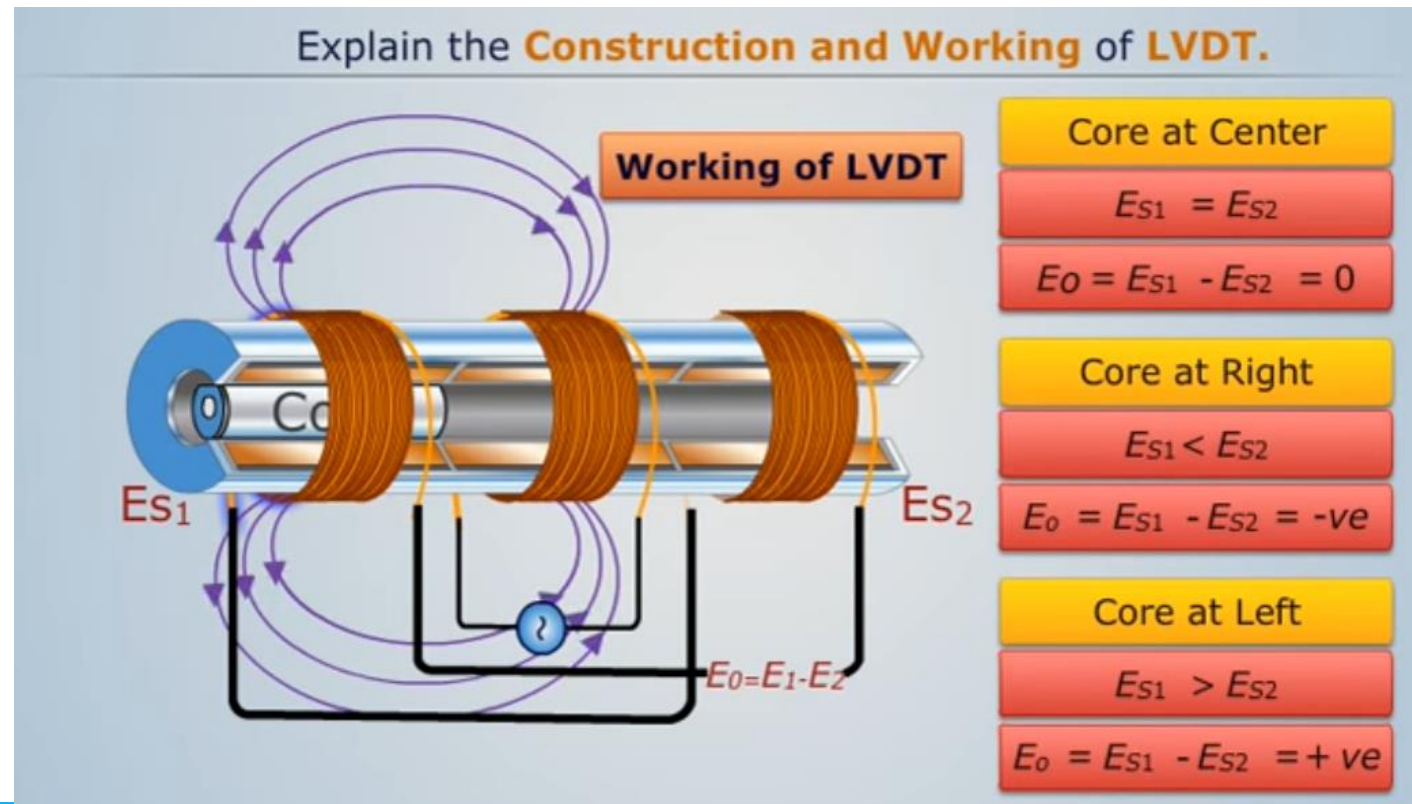
Quando o núcleo se move em outra direção, a tensão de saída também aumenta de zero para um máximo.

- Neste caso sua fase é oposta à fase primária.

# LVDT

## Construction and Working LVDT

- <https://www.youtube.com/watch?v=anCnrtjNLQM>





# LVDT

---

A amplitude da tensão de saída é proporcional a distância movida pelo núcleo (até o seu limite de curso), sendo por isso a denominação "linear" para o sensor.

A fase da tensão indica a direção do deslocamento.

Como o núcleo não entra em contato com o interior do tubo, ele pode mover-se livremente, quase sem atrito, fazendo do LVDT um dispositivo de alta confiabilidade.

# LVDT

---

Além disso, a ausência de contatos deslizantes ou girantes permite que o LVDT esteja completamente selado das condições do ambiente.



# Sensores de Velocidade Angular

---

# Sensores de Velocidade Angular

---

Sentem e informam a velocidade angular de um eixo, braço rotativo ou qualquer outro componente que gire.

Podem funcionar por princípios óticos, eletromagnéticos e elétricos.

# Tacômetro Ótico

---

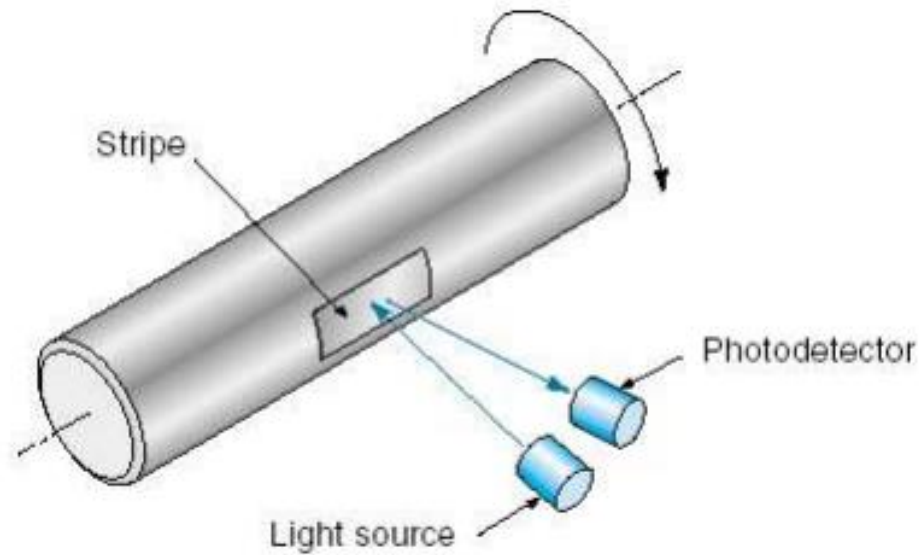
O tacômetro ótico é um dispositivo que permite determinar a velocidade de um eixo em rpm.

O período da forma de onda de saída é inversamente proporcional à velocidade angular do eixo.



# Tacômetro Ótico

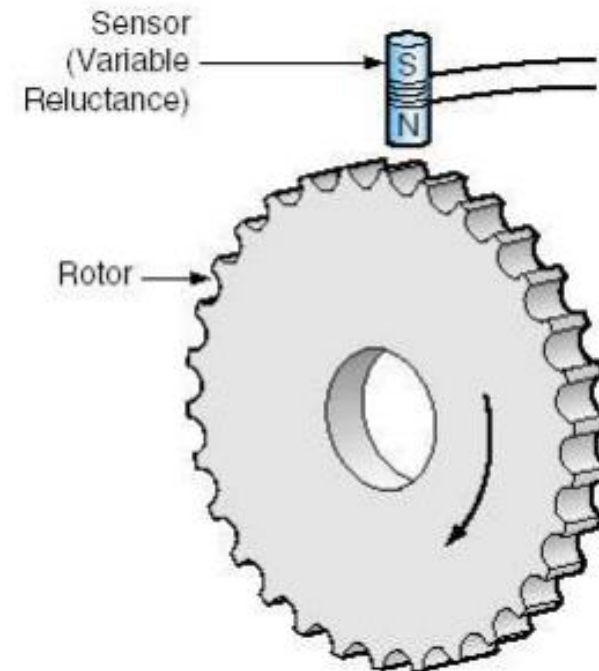
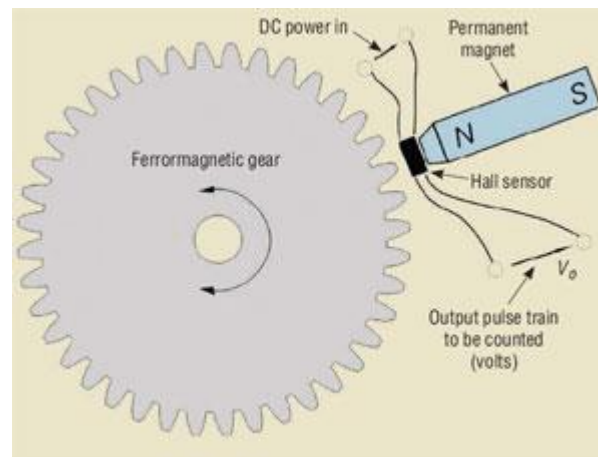
O sistema pode conter apenas um fotodetector e uma fonte de luz, porém é capaz de perceber a posição ou a direção.



# Tacômetro com Rotor Dentado

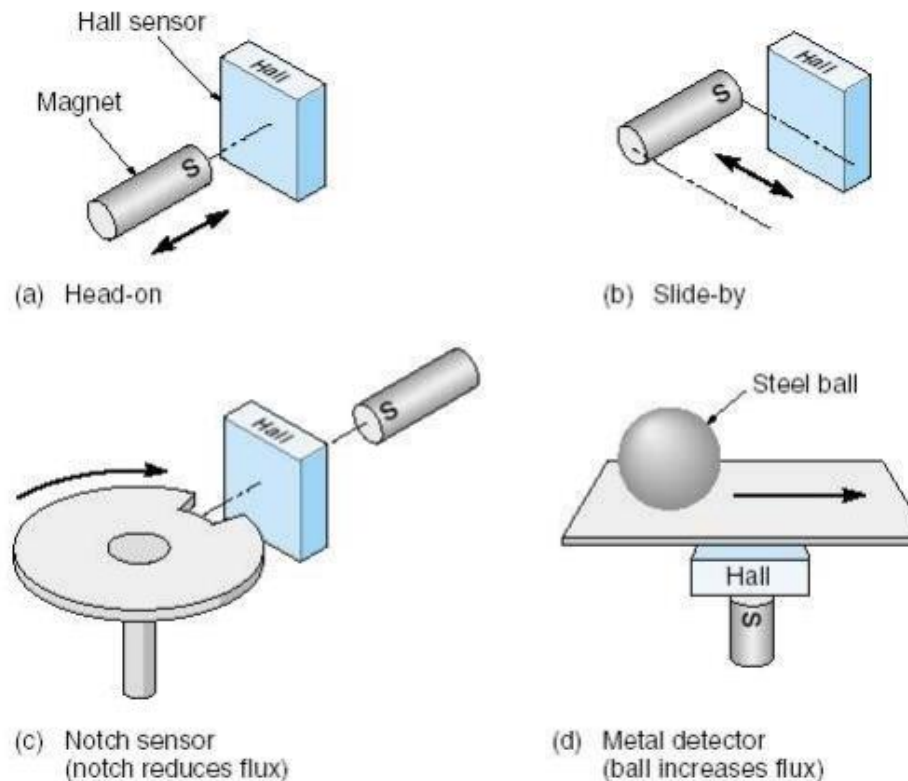
Um tacômetro com rotor dentado consiste em um sensor estacionário e um disco metálico e dentado.

- O sensor pode ser do tipo efeito Hall ou de relutância variável.



# Tacômetro com Rotor Dentado

Efeito Hall: alguns materiais como o cobre, germânio e índio, produzem uma voltagem na presença de um campo magnético.





# Tacômetro com Rotor Dentado

Quando o campo magnético aumenta, a tensão gerada aumenta proporcionalmente.



# Tacômetro DC

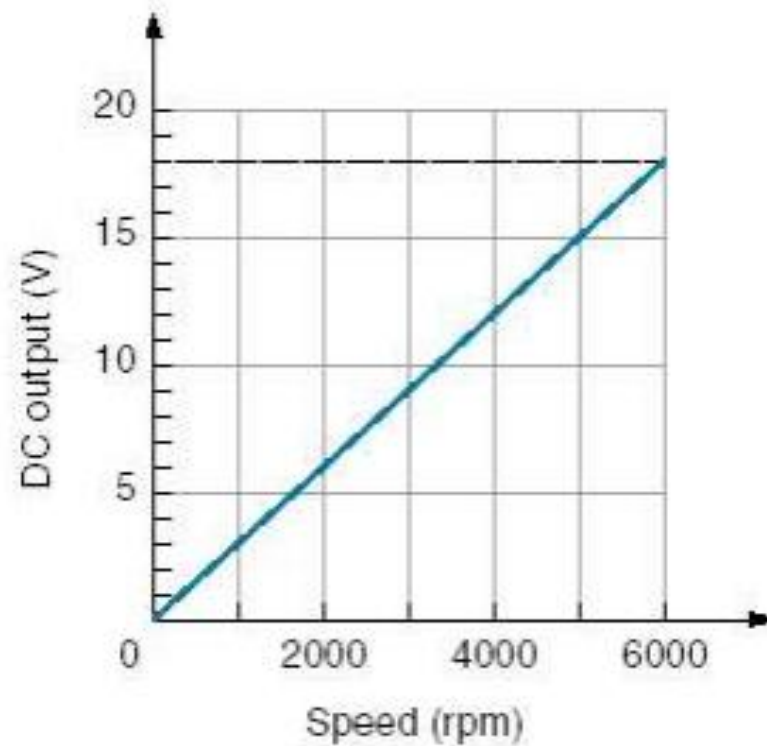
---

Um tacômetro DC é essencialmente um gerador DC que produz uma voltagem de saída DC proporcional à velocidade do eixo.

A polaridade da saída é determinada pela direção de rotação.

A informação da tensão de saída versus o rpm é normalmente fornecida em gráficos.

# Tacômetro DC



## CK20 DC TACHOMETER

The model CK20 is a moving coil tachometer designed for use in applications requiring velocity feedback with minimum system inertia load.



Parameter	Value	Units
Linearity	2	% max. deviation
Ripple	1.5	max, % peak to peak AC
Ripple Frequency	19	Cycles per revolution
Speed Range	1-6000	RPM
Armature Inertia	$9 \times 10^{-6}$	in-oz-sec <sup>2</sup>
Friction Torque	.25	in-oz, max.
Rated Life	10,000	Hours at 3000 RPM

### WINDING VARIATIONS

	CK20-A	CK20-B	CK20-C
Output Voltage Gradient (V/KRPM)	3.0	2.5	1

# Sensores de Presença

---

# Sensores de Presença

---

É comum, em sistemas automáticos, a necessidade de se saber a presença ou ausência de peças, de um componente de uma máquina ou de uma parte de um robô manipulador em determinada posição.

Para tal, utilizam-se os sensores de presença.

# Sensores de Presença

---

Os primeiros sensores de presença eram do tipo mecânico.

Os sensores mecânicos necessitam do contato físico com a peça ou componente para funcionar.

São os mais simples e são acionados por botões, alavancas, pinos, roletes, etc.

# Sensores de Presença

---

Os sensores mecânicos que enviam um sinal elétrico de saída são o microswitches.

- São pequenas chaves elétricas que são acionadas por pinos, alavancas e/ou roletes.
- Quando usados para detectar a posição limite de um componente são chamados de fim de curso.



# Sensores de Presença

---



**Botões de Comando**



**Válvulas Acionadas por Roletes**



# Sensores de Presença

---

Os sensores de presença mecânicos são confiáveis, porém, por possuírem peças móveis, sofrem desgaste mecânico com o passar do tempo.

Além disso, não funcionam bem para velocidades de acionamento muito elevadas.

# Sensores de Presença

---

Pensando-se em minimizar esses problemas, foram criados os sensores de presença de proximidade.

Esse tipo de sensor tem algumas vantagens em relação aos mecânicos:

- Não sofrem desgaste mecânico (já que atuam por aproximação, sem contato físico com a peça);
- Podem funcionar com altas velocidades de comutação;
- São imunes a vibrações e choques mecânicos.

# Sensores de Presença

---

Os sensores de presença de proximidade podem ser dos seguintes tipos:

- Magnético;
- Capacitivo;
- Indutivo;
- Óptico

# Sensores de Presença de Proximidade

---

MAGNÉTICOS

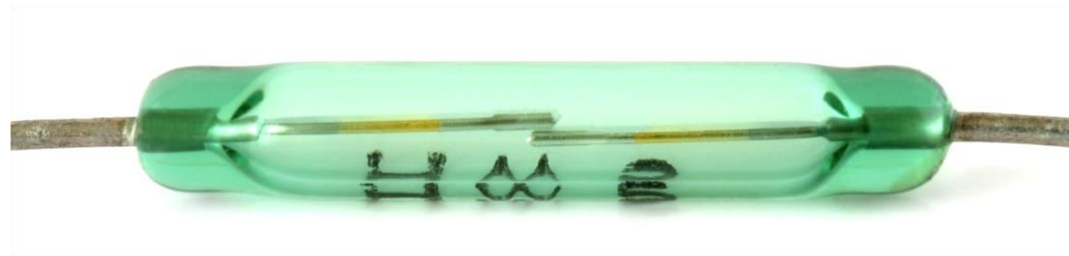
# Magnéticos

---

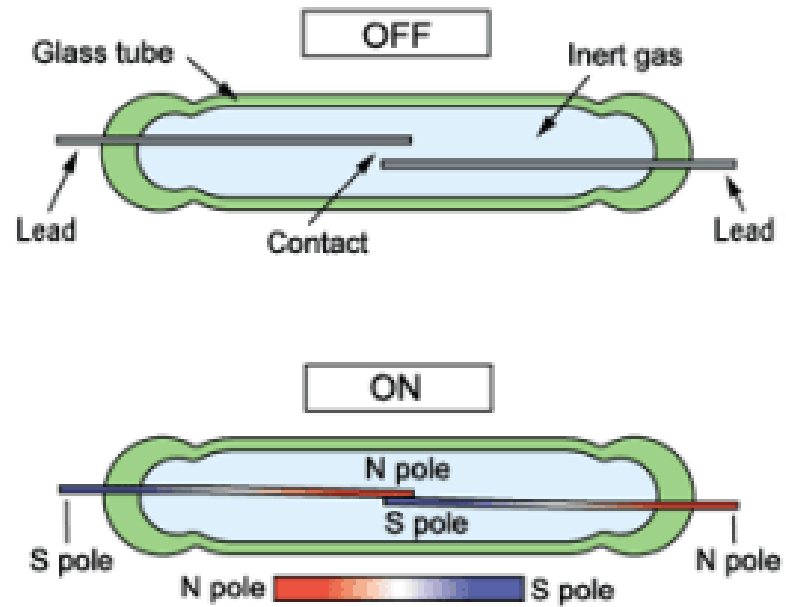
O tipo mais comum é o interruptor de lâminas ou reedswitch.

Ele é constituído por lâminas dentro de um bulbo de vidro que contem um gás inerte.

Quando um campo magnético de um ímã ou de um eletroímã atua sobre as lâminas, magnetizando-as, as lâminas se unem fechando o circuito.



# Magnéticos

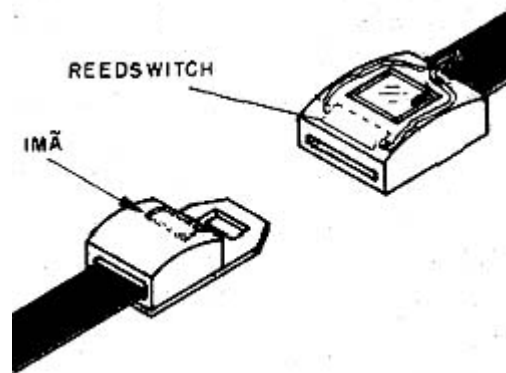


# Magnéticos

---

Aplicação: sensor de cinto de segurança afivelado

- Somente se o cinto de segurança estiver colocado é que o circuito não dispara, sendo possível trafegar com o veículo.



# Magnéticos

---

Aplicação: sensor de cinto de segurança afivelado

- Somente se o cinto de segurança estiver colocado é que o circuito não dispara, sendo possível trafegar com o veículo.





# Sensores de Presença de Proximidade

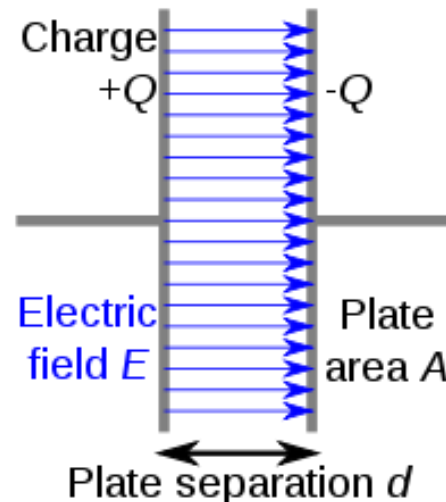
---

CAPACITIVOS

# Sensores de Presença de Proximidade

O capacitor é um componente capaz de armazenar cargas elétricas.

Ele é composto de duas placas metálicas, colocadas uma sobre a outra e isoladas eletricamente, sendo o isolante chamado de dielétrico.



# Capacitivos

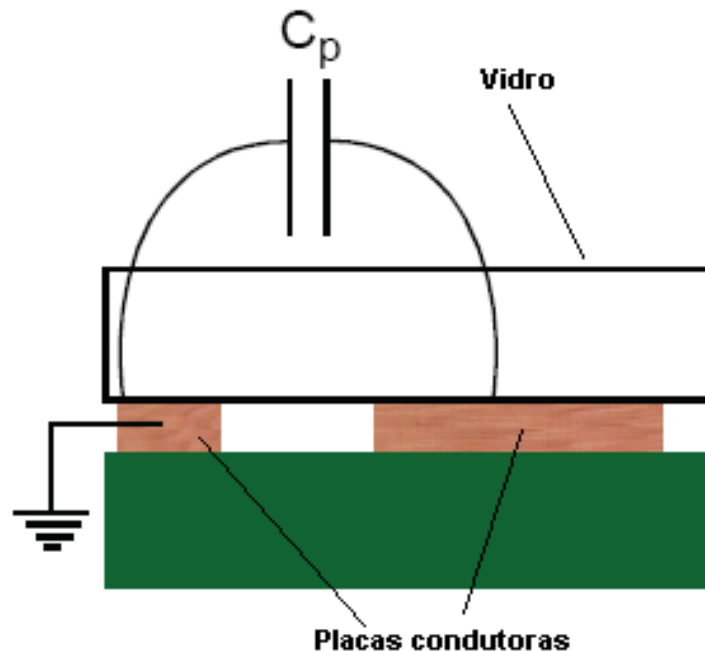
---

A propriedade que define um capacitor é sua capacitância.

- É a quantidade de energia elétrica que pode ser acumulada nele por uma determinada tensão e pela quantidade de corrente alternada que atravessa um capacitor em uma determinada frequência.
- Ela é diretamente proporcional à área das placas e à constante dielétrica do material isolante e inversamente proporcional à distância entre as placas.

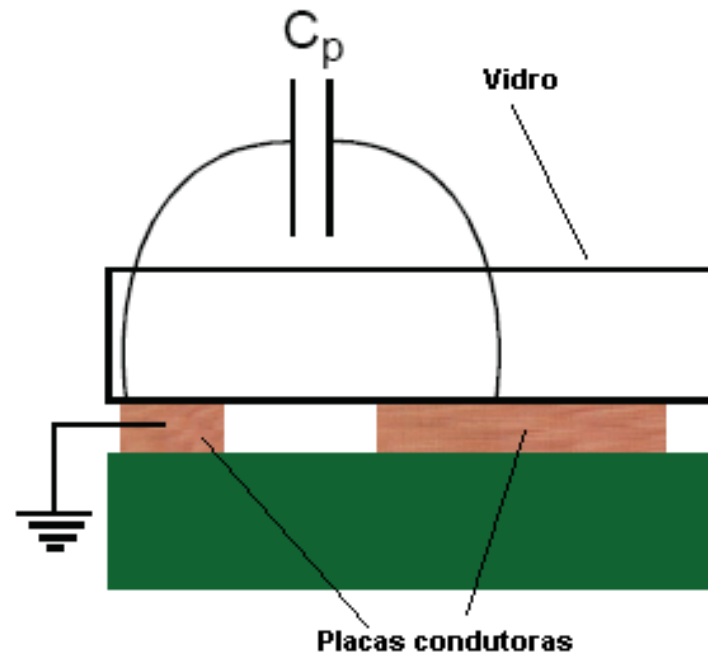
# Capacitivos

Se duas placas condutoras são posicionadas uma próxima da outra tendo sobre elas um material isolante (dielétrico) como, vidro ou plástico, o conjunto se comporta como um capacitor.



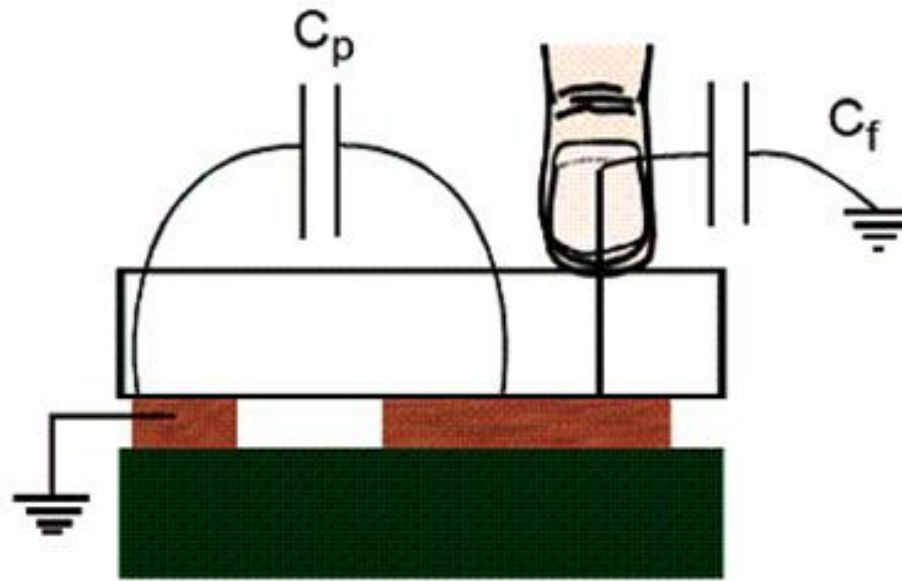
# Capacitivos

A capacitância apresentada por esse conjunto depende do dielétrico e do tamanho e separação das placas condutoras.



# Capacitivos

Quando qualquer material líquido ou sólido se aproxima da placa isolante (face do sensor), o capacitor passa a apresentar uma capacitância adicional.



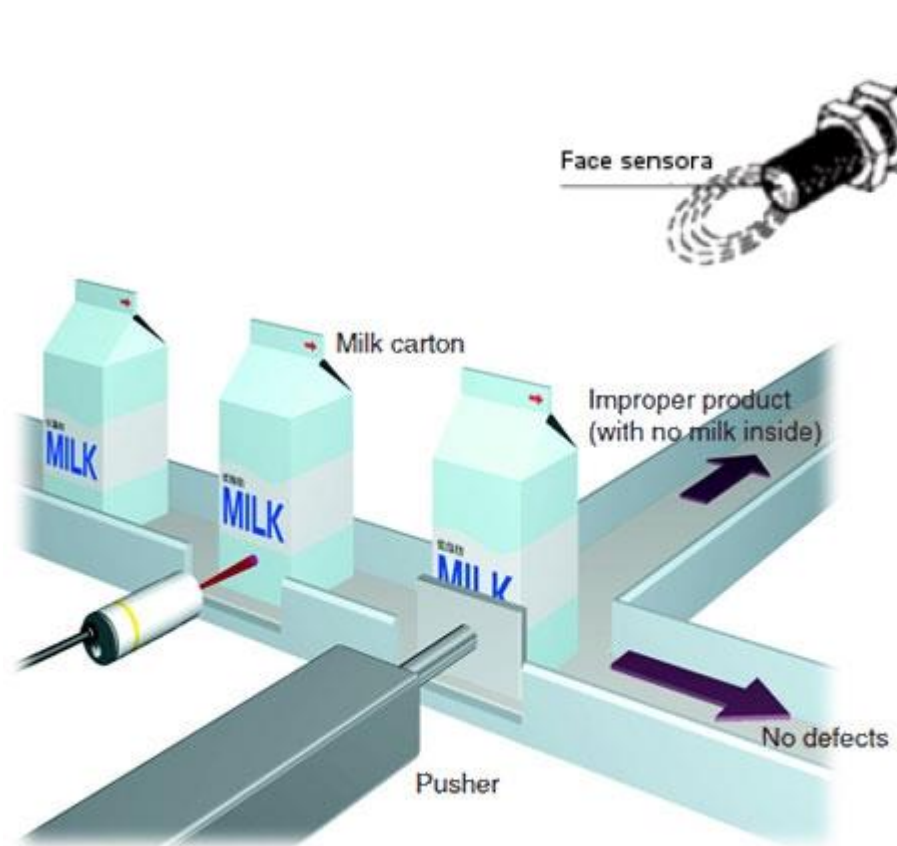
# Capacitivos

---

A capacitância total apresentada pelo conjunto passa a ser então a soma das capacitâncias do sensor em si, mais a capacitância apresentada pelo material.

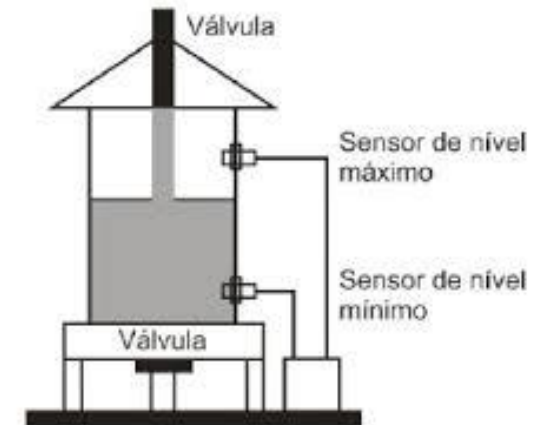
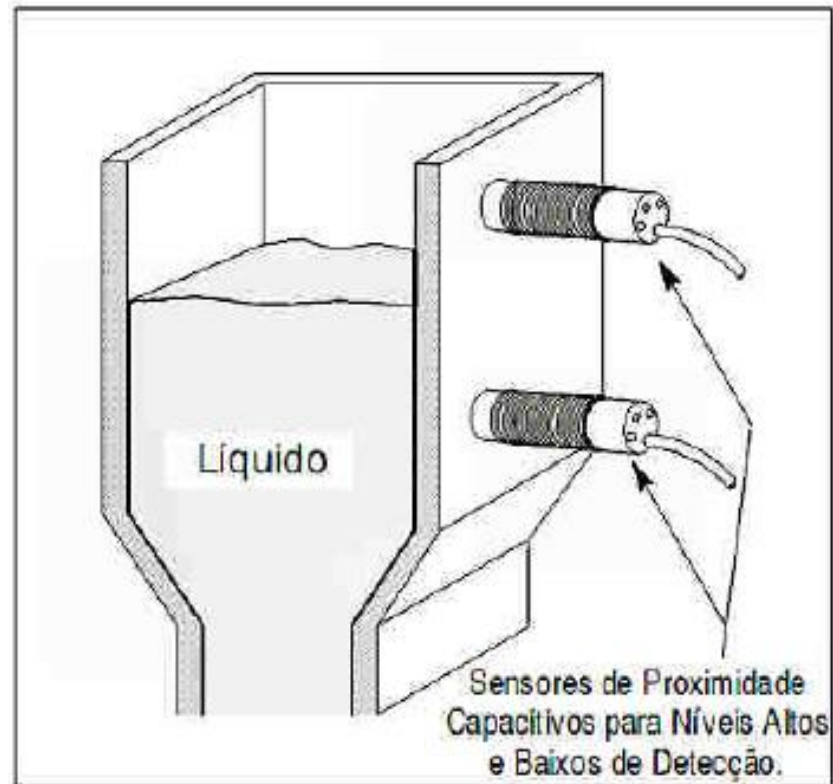
O circuito eletrônico do sensor detecta essa variação de capacitância e gera um sinal de saída proporcional a essa variação.

# Capacitivos





# Capacitivos



# Sensores de Presença de Proximidade

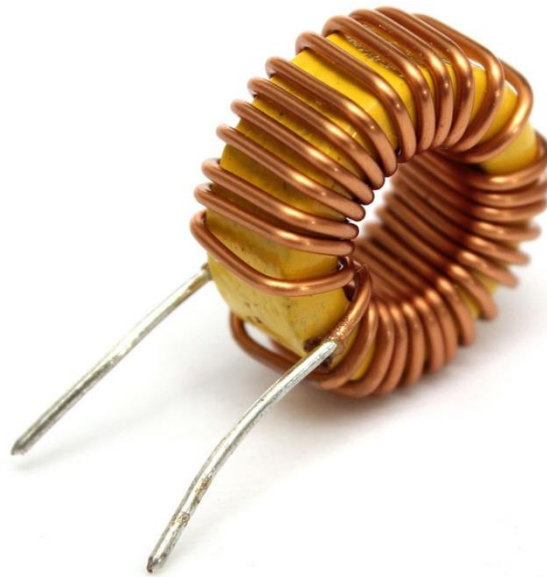
---

INDUTIVOS

# Indutivos

---

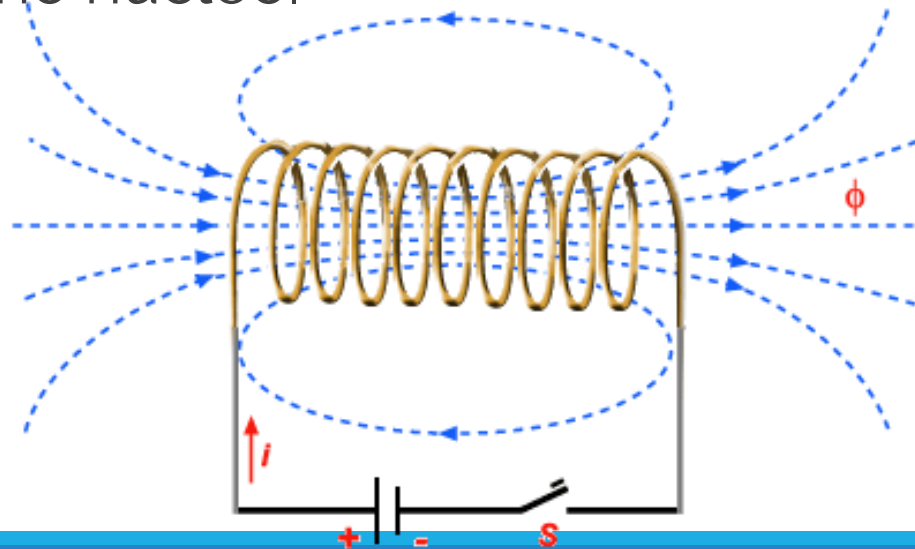
Os sensores de presença de proximidade indutivos atuam baseados na variação da indutância de um indutor.



# Indutivos

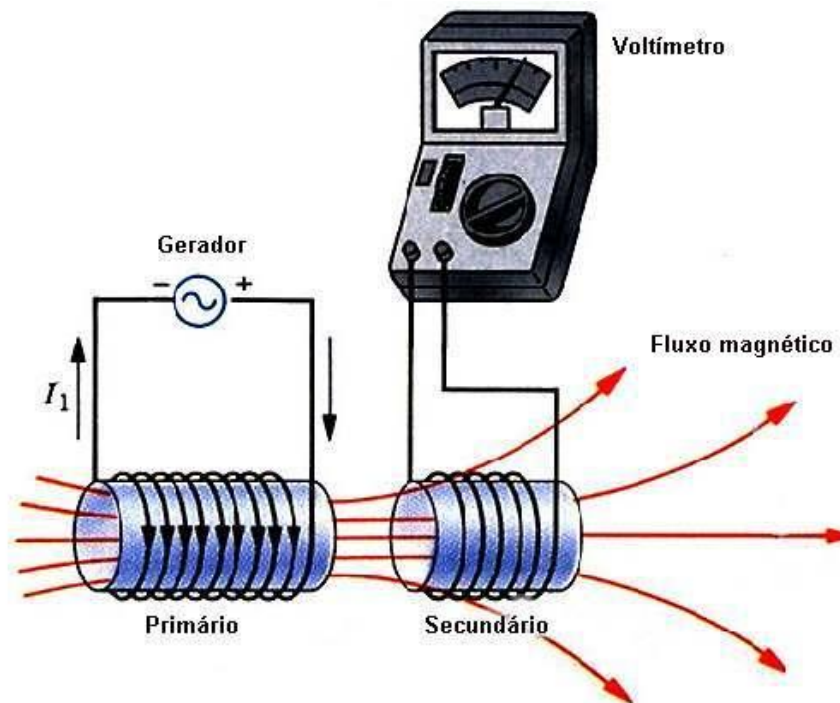
O indutor é um componente eletrônico composto de um núcleo envolto por uma bobina.

Quando se faz circular uma corrente pela bobina um campo magnético forma-se no núcleo.



# Indutivos

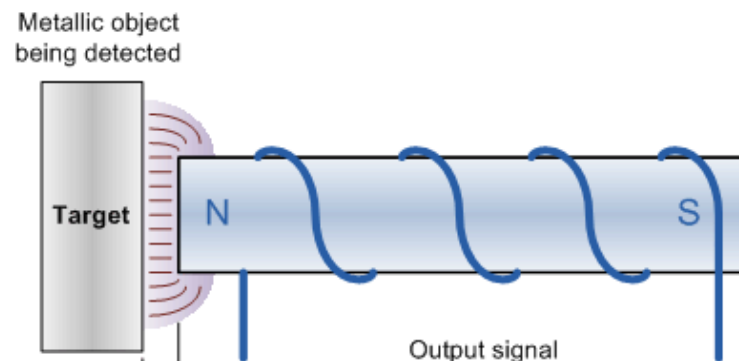
Quando um objeto metálico aproxima-se deste campo, ele absorve parte deste campo provocando alteração na indutância.



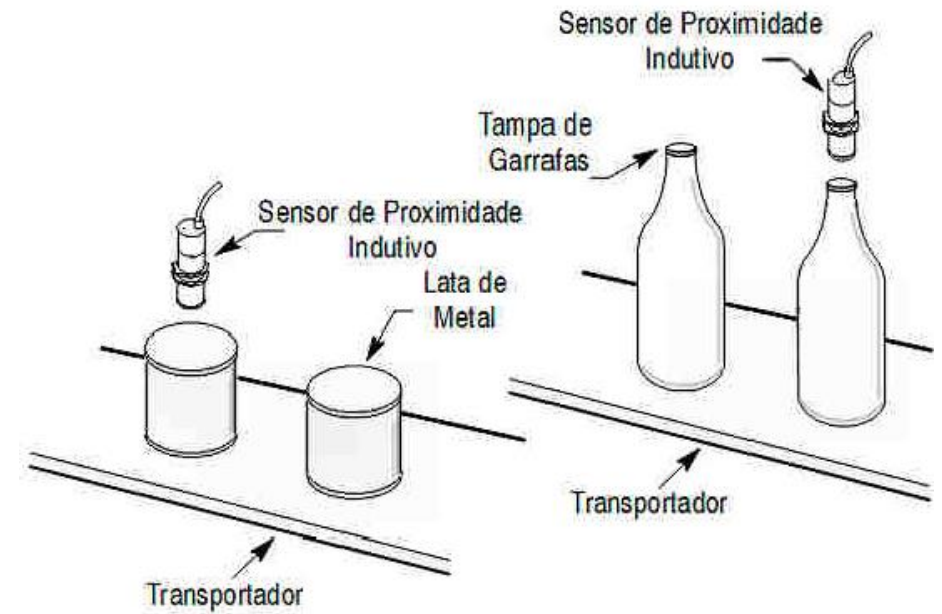
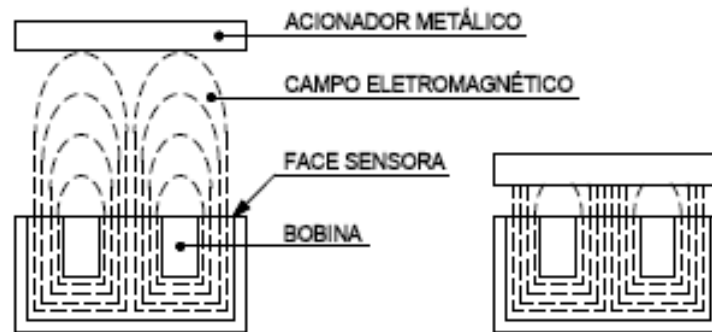
# Indutivos

O funcionamento do sensor se baseia na geração de um campo eletromagnético de alta frequência, desenvolvido por uma bobina ressonante instalada na face sensora.

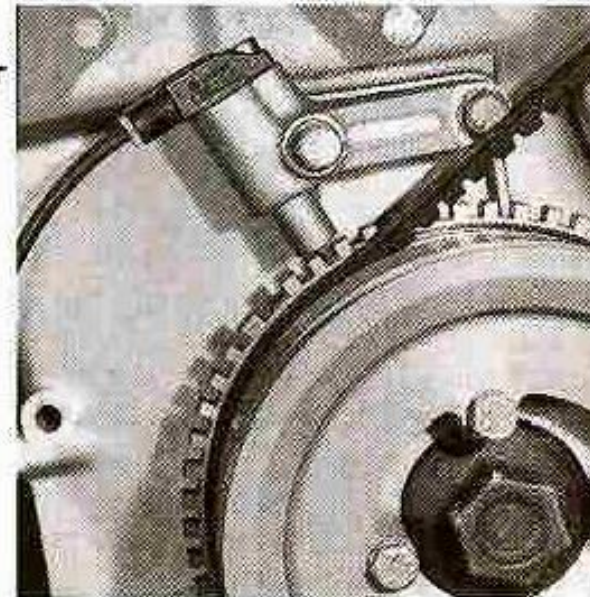
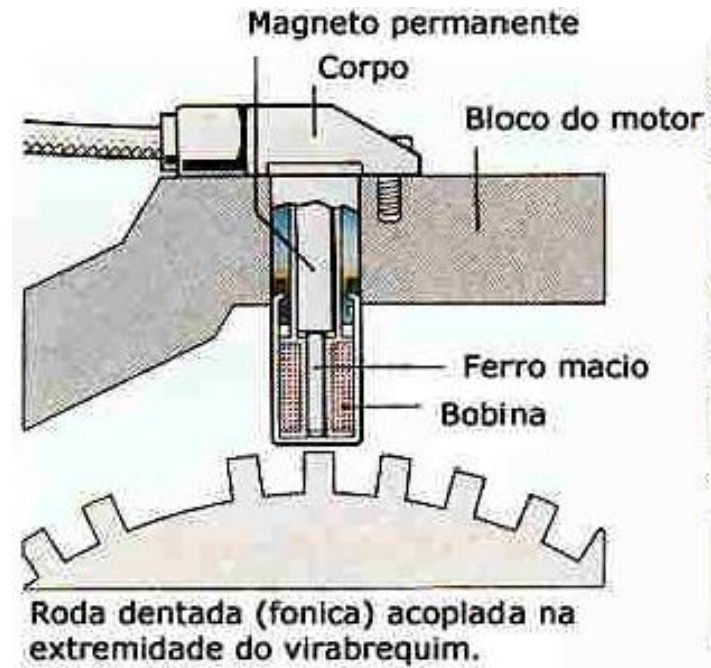
Quando um objeto metálico se aproxima há uma variação do sinal que é comparada com um sinal padrão.



# Indutivos



# Indutivos





# Indutivos

---

Este tipo de sensor foi introduzido no mercado em meados de 1960, geralmente aplicados para a substituição de chaves de fim de curso, já que não requerem contatos físicos para atuar.

Eles são usados em aplicações que requerem confiabilidade, precisão na detecção do objeto, grande número de comutações e alta velocidade de operação.

# Sensores de Presença de Proximidade

---

ÓPTICOS

# Ópticos

---

Os sensores ópticos baseiam-se na emissão e recepção de luz que pode ser interrompida ou refletida pelo objeto a ser detectado.

Existem os sensores ópticos por barreira, os sensores ópticos por difusão e os sensores ópticos por retrorreflexão ou por reflexão.

# Ópticos por Barreira

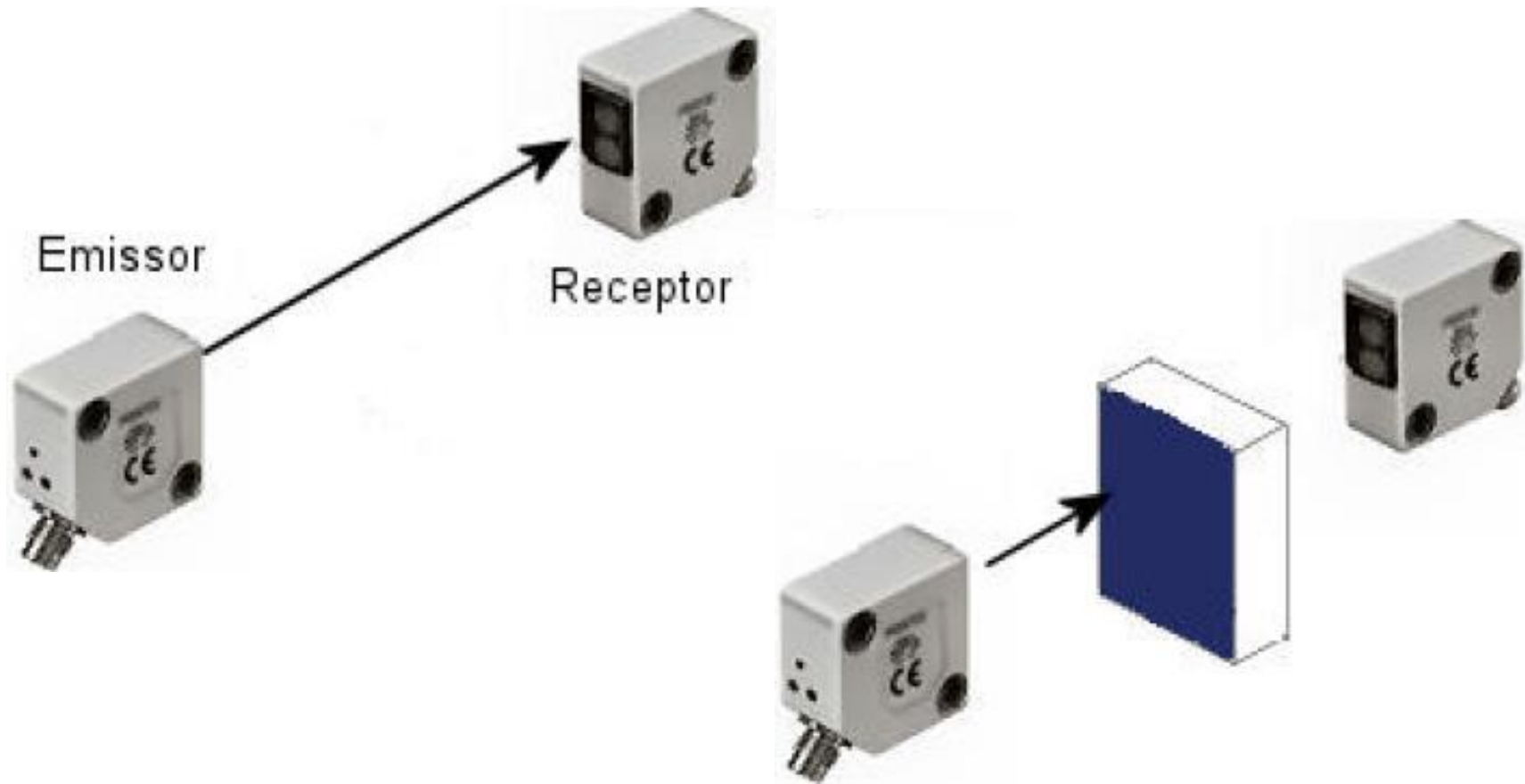
---

Neste tipo de sensor, o transmissor e o receptor estão em unidades distintas e devem ser dispostos um frente ao outro, de modo que o receptor possa constantemente receber a luz do transmissor.

O acionamento da saída ocorrerá quando o objeto a ser detectado interromper o feixe de luz.

# Ópticos por Barreira

---



# Ópticos por Difusão

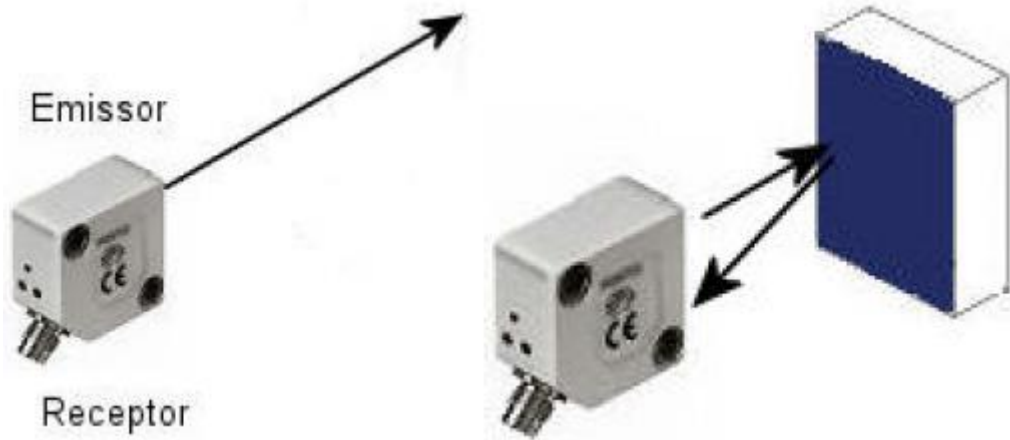
---

Neste sistema o transmissor e o receptor são montados na mesma unidade.

Entretanto, o acionamento da saída ocorre quando o objeto a ser detectado entra na região de sensibilidade e reflete para o receptor o feixe de luz emitido pelo transmissor.

# Ópticos por Difusão

---



# Ópticos por Reflexão

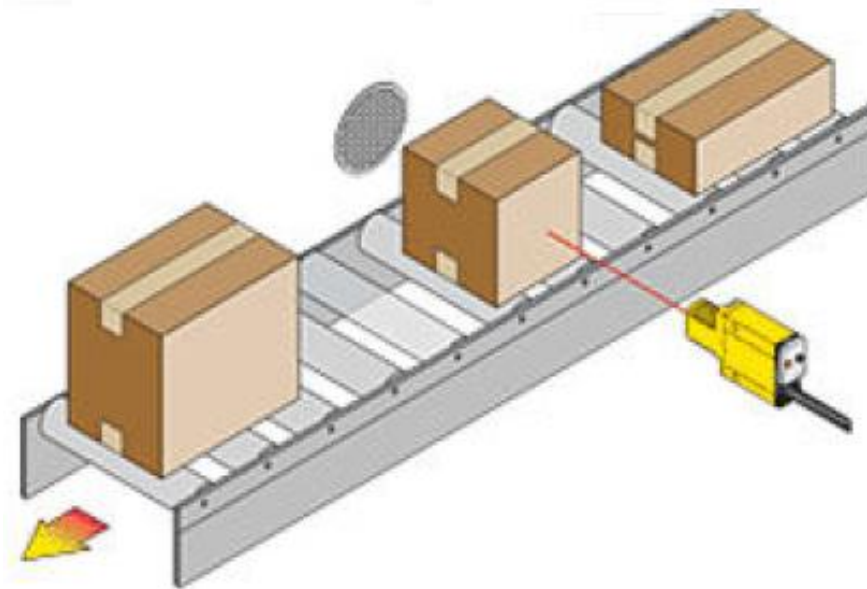
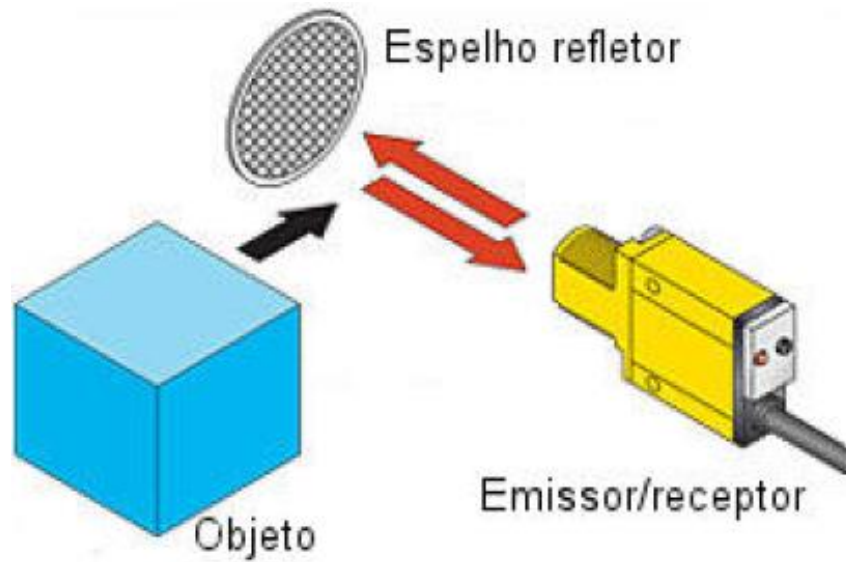
---

Este sistema apresenta o transmissor e o receptor em uma única unidade.

O feixe de luz chega ao receptor somente após ser refletido por um espelho prismático, e o acionamento da saída ocorrerá quando o objeto a ser detectado interromper este feixe.



# Ópticos por Reflexão



# Sensores de Carga

---

# Sensores de Carga

---

Os sensores de carga têm a função de sentir e reportar forças mecânicas.

- Na maioria dos casos, o sensor mede a deformação causada pela força a ser medida.

Uma vez que a quantidade de deslocamento por tração ou compressão é determinada, a força correspondente é calculada através dos dados de parâmetros mecânicos do material.

# Sensores de Carga

---

A relação entre deformação e força é uma constante para cada material, como definido pela lei de Hooke:

$$F = k.x$$

- $k$  : constante elástica do material;
- $F$  : força aplicada;
- $x$  : deslocamento provocado pela força.



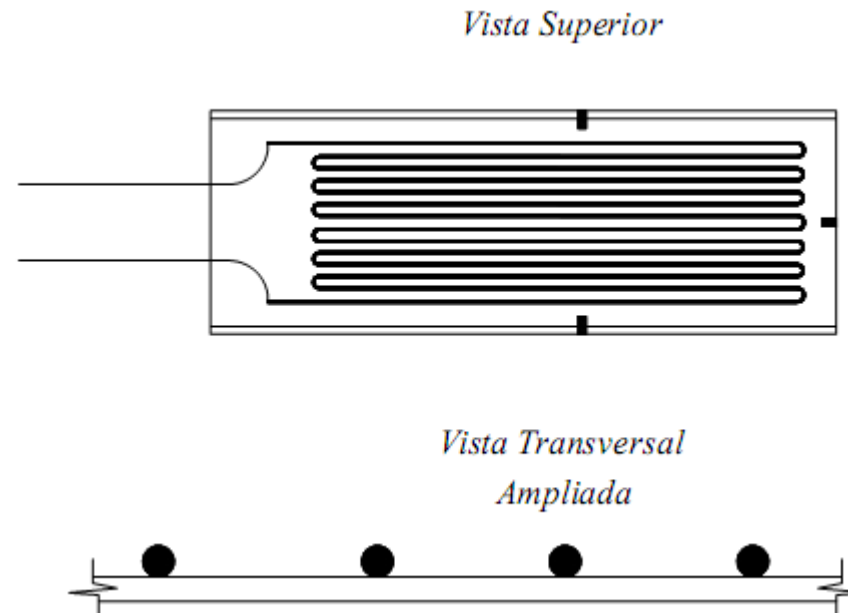
# Sensores de Carga

---

EXTENSÔMETRO A FIO

# Extensômetro a Fio

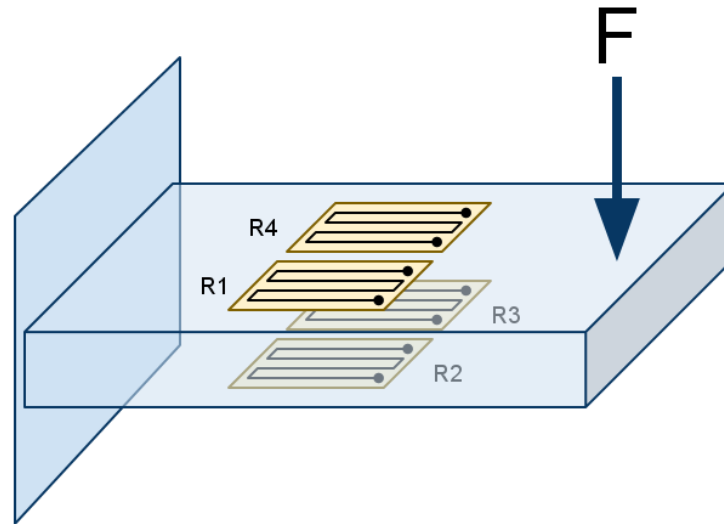
Um extensômetro (*strain gauge*) a fio consiste em um fino fio ( $d \cong 0,025 \text{ mm}$ ) disposto em zigue zague fixado sobre um fino substrato.



# Extensômetro a Fio

O extensômetro é seguramente fixado à superfície de um objeto para detectar deformações.

- O sensor deve ser orientado de tal forma que a parte longitudinal do fio em zigue-zague fique alinhada na mesma direção da deformação esperada.

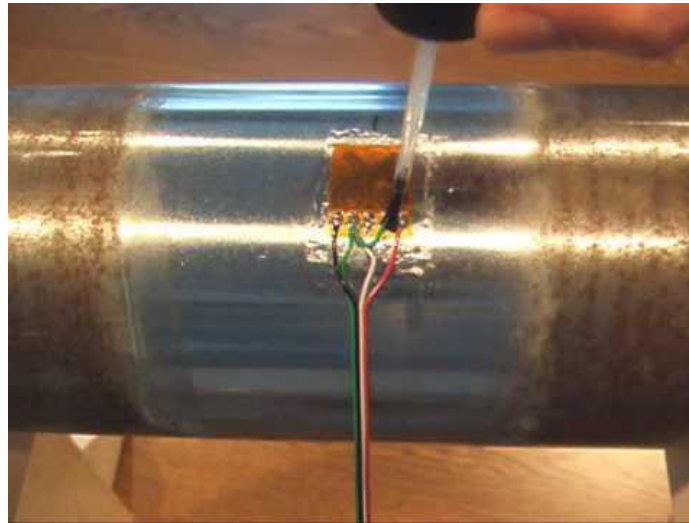


# Extensômetro a Fio

---

Se o objeto é posto sob tensão, o sensor vai ser esticado e os fios alongados.

- Os fios não só ficam mais longos como também mais finos.
- Ambas esses efeitos fazem com que a resistência total do fio cresça.





# Extensômetro a Fio

---

Isso é ilustrado pela equação básica da resistência elétrica:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

- R: resistência elétrica de um certo comprimento de fio (a 20°C);
- $\rho$ : resistividade (uma constante dependente do material);
- L: comprimento do fio;
- A: área da seção transversal do fio.

# Extensômetro a Fio

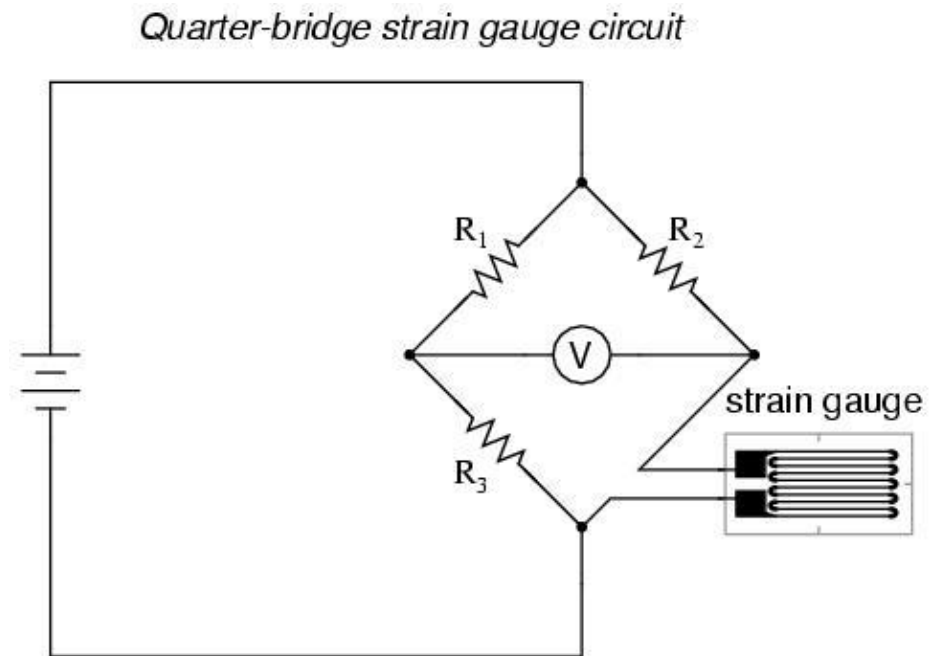
---

Mudanças na resistência do sensor são utilizadas para calcular o alongamento do objeto.

A mudança na resistência em um extensômetro de fio é pequena, apenas unidades percentuais do valor nominal, possivelmente menos que um Ohm.

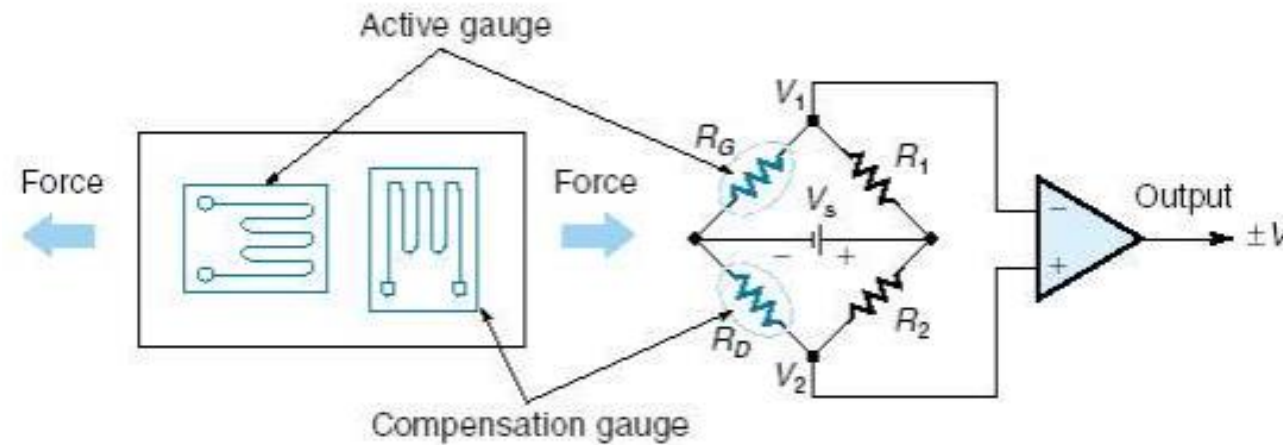
# Extensômetro a Fio

Portanto, para medir tais resistências é necessário um circuito em ponte.



# Extensômetro a Fio

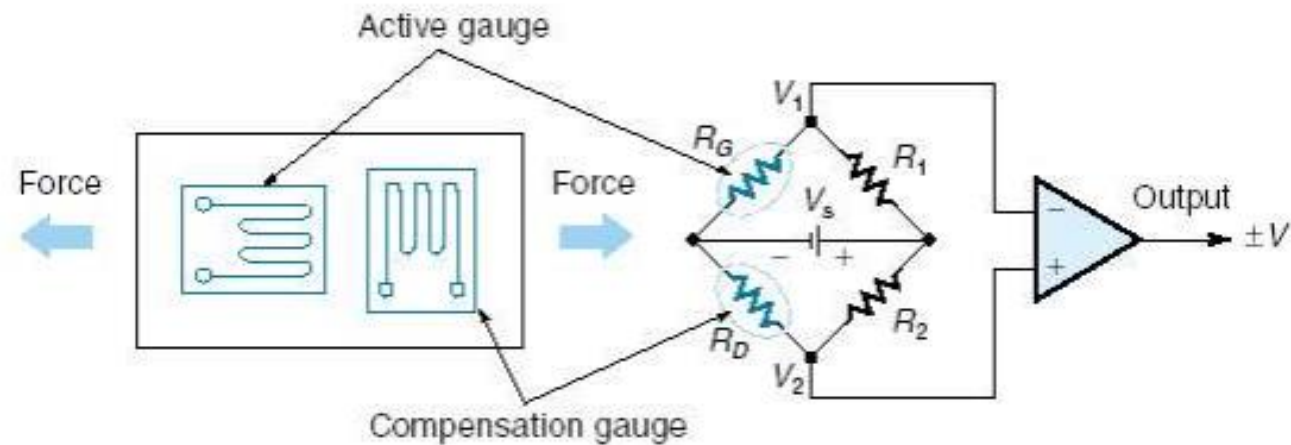
A ponte também permite cancelar variações devidas à temperatura pela conexão de um extensômetro de compensação como um dos resistores da ponte.



# Extensômetro a Fio

Este é fixado fisicamente próximo do extensômetro ativo para estar submetido à mesma temperatura.

- Entretanto é orientado perpendicularmente para que a força aplicada não alongue seus fios.

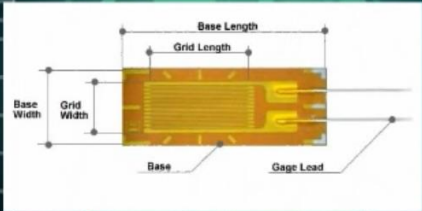


# Extensômetro a Fio

## Strain Gauge

- <https://www.youtube.com/watch?v=ZPSB37RSO7s>

**Strain Gauge - Intro**



The diagram illustrates the physical structure of a strain gauge. It shows a rectangular grid of conductive lines on a substrate. Key dimensions are labeled: 'Base Length' (the overall length), 'Grid Length' (the length of the active grid area), 'Base Width' (the overall width), and 'Grid Width' (the width of the active grid area). The 'Base' is the substrate material, and 'Gage Lead' refers to the electrical wires extending from the grid.

- Device used to measure strain on an object.
- Measureable by measuring its resistance.
- This is due to its electrical conductance on conductors geometry.

CREATED USING  
**Powtoon**

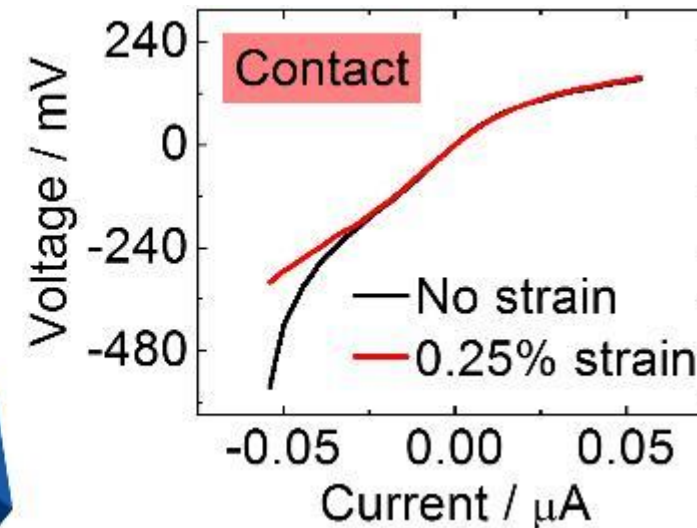
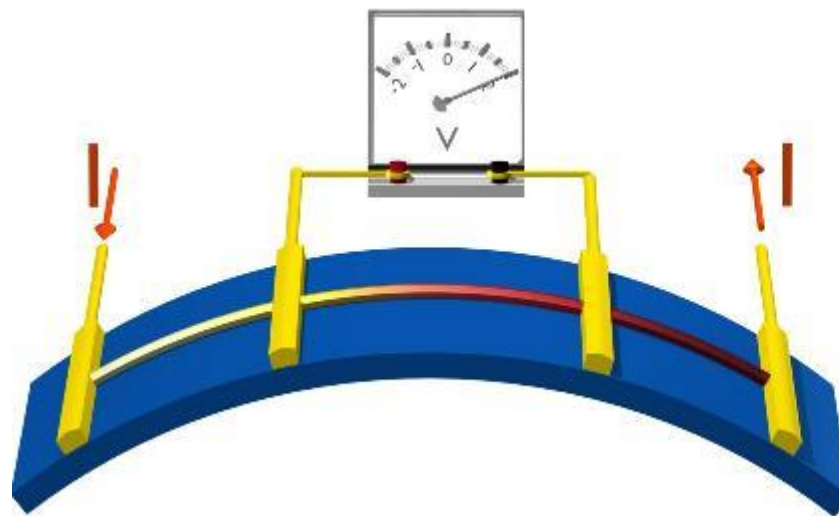
# Sensores de Carga

---

EXTENSÔMETRO A SEMICONDUTOR

# Extensômetros a Semicondutor

São extensômetros que utilizam o efeito piezoresistivo do silício para gerar sinais de saída.



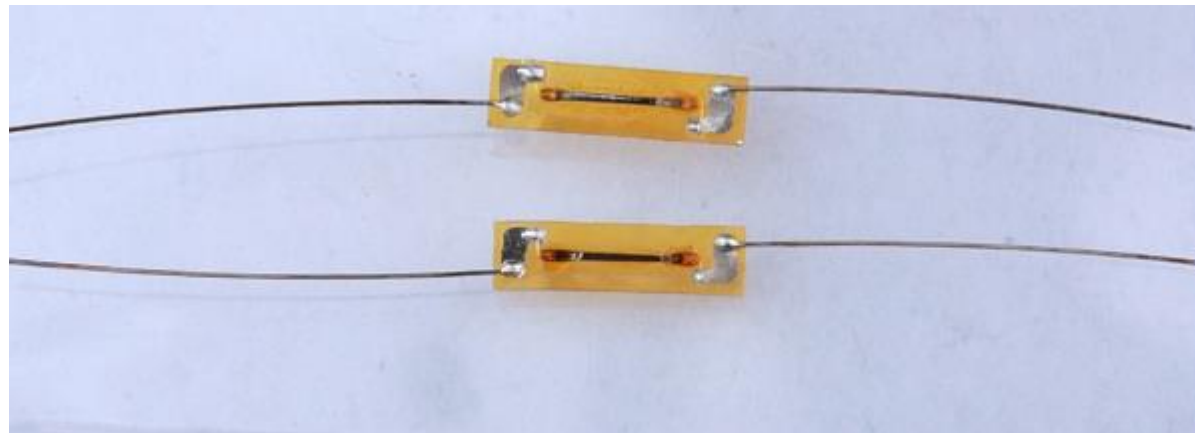


# Extensômetros a Semicondutor

---

Os sensores em questão têm sua resistência elétrica modificada quando uma força é aplicada.

São de 25 a 100 vezes mais sensíveis que os extensômetros a fio.



# Extensômetros a Semicondutor

---

Um extensômetro a semicondutor é simplesmente uma fita de silício que é fixada à estrutura.

