



UNIVERSIDADE DO ALGARVE

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA

**LICENCIATURA EM
ENGENHARIA ELÉCTRICA E ELECTRÓNICA**

AUTOMAÇÃO E ROBÓTICA

ROTEIRO TEÓRICO – 2º CAPÍTULO

NÍVEL OPERACIONAL DOS AUTOMATISMOS

**Ivo M. MARTINS
A.D.E.E. – I.S.E.**

Ano Lectivo: 2010/2011

SUMÁRIO

NÍVEL OPERACIONAL DOS AUTOMATISMOS _____	2
INTRODUÇÃO _____	2
SENSORES INDUSTRIAIS _____	3
<i>Introdução</i> _____	3
<i>Caracterização de Sensores</i> _____	4
<i>Sensores de Posição</i> _____	15

<i>Sensores de Velocidade</i> _____	22
<i>Sensores de Aceleração</i> _____	23
<i>Sensores de Presença</i> _____	25
<i>Sensores de Temperatura</i> _____	32
<i>Sensores de Pressão</i> _____	33
<i>Sensores de Nível</i> _____	35

NÍVEL OPERACIONAL DOS AUTOMATISMOS

INTRODUÇÃO

- ✚ Cada sistema automatizado é constituído por uma parte operativa e uma parte de comando, constituindo-se um diálogo entre as duas partes e com o exterior.

- ✚ Este diálogo envolve sinais que podem ser de dois tipos:
 - ✚ **Digitais** (lógicos): podem assumir unicamente dois valores. São sinais binários.

 - ✚ **Analógicos** (contínuos): podem assumir qualquer valor numa gama contínua.

- ✚ O diálogo acima referido pode ser estabelecido entre máquinas e entre máquinas e Homem. No primeiro dos casos encontramos duas grandes classes de elementos promotores desse diálogo:
 - ✚ **Sensores**: destinados a captar informações da parte operativa.

 - ✚ **Actuadores**: promovem a mudança de estado da parte operativa.

SENSORES INDUSTRIAIS

INTRODUÇÃO

- ✚ Os sensores são a base de toda a automação industrial. São eles que possibilitam medir de forma automática as grandezas que caracterizam a parte operativa, com base nas quais a parte de comando gera as respectivas ordens.
- ✚ São caracterizados por serem sensíveis a alguma forma de energia do ambiente (luminosa, térmica, cinética), relacionando informações sobre uma grandeza que precisa ser medida, como por exemplo: temperatura, pressão, velocidade, aceleração, posição, etc...
- ✚ No entanto, os sensores nem sempre têm as características eléctricas necessárias para serem utilizados num sistema de controlo, pelo que o sinal de saída deve ser manipulado (por um circuito de interface) antes da sua leitura no sistema de controlo.
- ✚ Actualmente existe uma grande variedade de tipos de sensores, sendo cada um adaptado a um determinado tipo de actividade e grandeza a medir.

CARACTERIZAÇÃO DE SENSORES

- ✚ Um sensor é um dispositivo que recebe um sinal ou estímulo e responde com um sinal eléctrico que pode ser correlacionado com o estímulo.
- ✚ Isto é, baseia-se num determinado princípio activo para converter uma determinada quantidade, propriedade ou estado, numa outra passível de tratamento eléctrico (ou mecânico).



- ✚ O sinal de entrada pode ser uma quantidade, uma propriedade ou estado, que o sensor converte numa quantidade eléctrica (carga, tensão ou corrente) e que pode ser amplificada e modificada por circuitos electrónicos.
- ✚ No entanto, os sensores devido à sua construção e materiais utilizados, têm um comportamento real que se afasta do ideal, pelo que se torna importante caracterizar esse desvio.

CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS

Gama (*Input Full Scale*)

- ✦ A gama é o domínio de valores de entrada que podem ser “convertidos” pelo sensor.
- ✦ A gama é por isso representada por um valor máximo e por um valor mínimo, os quais representam os valores extremos que, aplicados à entrada do sensor, não produzem erros inaceitáveis.
- ✦ Para sensores com gamas elevadas utiliza-se o conceito de *decibel* (dB) para representar a gama, visto que permitem obter números mais compactos.
- ✦ Assim, a gama pode ser representada por:

$$Gama = [X_{\min}, X_{\max}]$$

Fundo de Escala (*Output Full Scale*)

- ✦ O fundo de escala (FS) é a diferença algébrica entre os valores da saída do sensor para o valor máximo da gama, e para o valor mínimo da gama, respectivamente. Assim:

$$FS = [X_{\max} * F_R(X_{\max}) - X_{\min} * F_R(X_{\min})]$$

- ✦ É de notar que é necessário incluir todos os desvios da função de transferência ideal, isto é, F_R é a função de transferência real do sensor. Ou seja, é a diferença entre os valores obtidos à saída dos sensor, quando se coloca à entrada o valor mínimo e o valor máximo da gama de entrada, respectivamente.

Sensibilidade

- ✦ É a relação entre a variação da saída e a variação da entrada:

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

✚ Exactidão (*Accuracy*)

- ✚ Esta é uma característica muito importante e que, normalmente, é apresentada como inexactidão (*inaccuracy*).
- ✚ A inexactidão não é mais do que a diferença máxima entre um qualquer valor obtido pelo sensor e o respectivo valor verdadeiro ou ideal.
- ✚ O valor de inexactidão tem de ser verdadeiro para toda a gama, embora, em alguns tipos de sensores, o fabricante apresente a inexactidão para vários intervalos da gama.
- ✚ A inexactidão pode também ser apresentada como uma percentagem da gama do sensor ou em termos do sinal de saída.
- ✚ Em alguns sensores modernos, cada vez mais inteligentes, o conceito de inexactidão é, às vezes, substituído pelo de incerteza (grandeza estatística) que permite incluir efeitos dinâmicos e de distorção, de carácter sistemático e/ou aleatório.

✚ Erro de Calibração

- ✚ Esta é uma inexactidão permitida pelo fabricante quando fez a calibração do sensor em fábrica.
- ✚ É, por isso, um erro sistemático e não necessariamente uniforme em toda a gama.
- ✚ Existindo este erro de calibração, existe também um erro na sensibilidade que faz com que as medidas obtidas sejam mal interpretadas. Assim na curva real, a sensibilidade é:

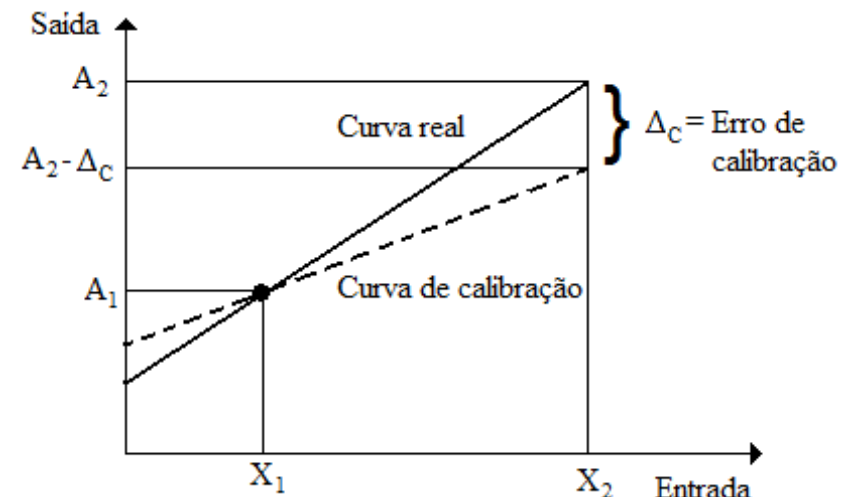
$$S_1 = \frac{A_2 - A_1}{X_2 - X_1}$$

- ✚ Para a curva de calibração a sensibilidade é:

$$S_1 = \frac{A_2 - \Delta_C - A_1}{X_2 - X_1}$$

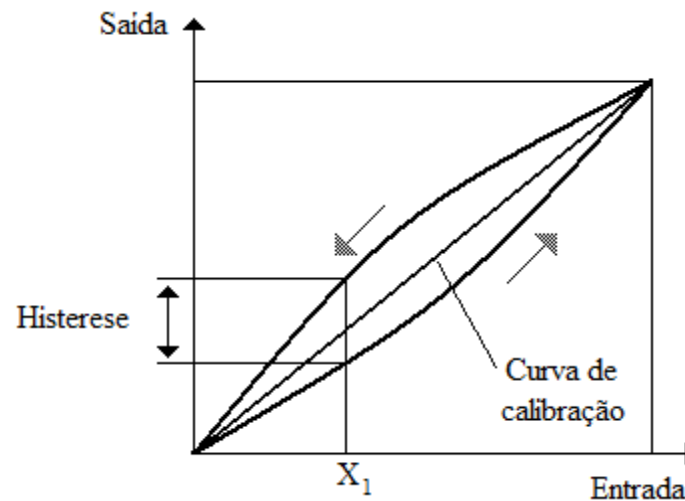
- ✚ O erro na sensibilidade é dado por

$$Erro = -\frac{\Delta_C}{X_2 - X_1}$$



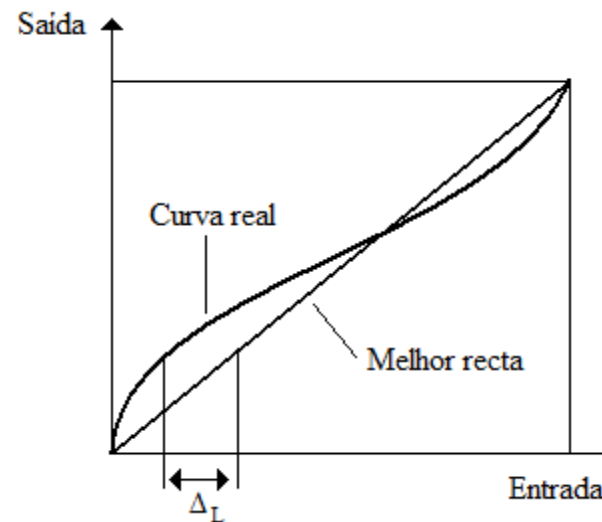
✚ Histerese

- ✚ A histerese é inerente ao facto de o comportamento dos materiais não ser ideal, isto é, existe atrito e, quando sujeitos a estímulos, os materiais sofrem alterações que não recuperam totalmente quando o estímulo desaparece.
- ✚ A histerese é um desvio na saída do sensor num determinado ponto, quando esse ponto é obtido vindo de direcções opostas.



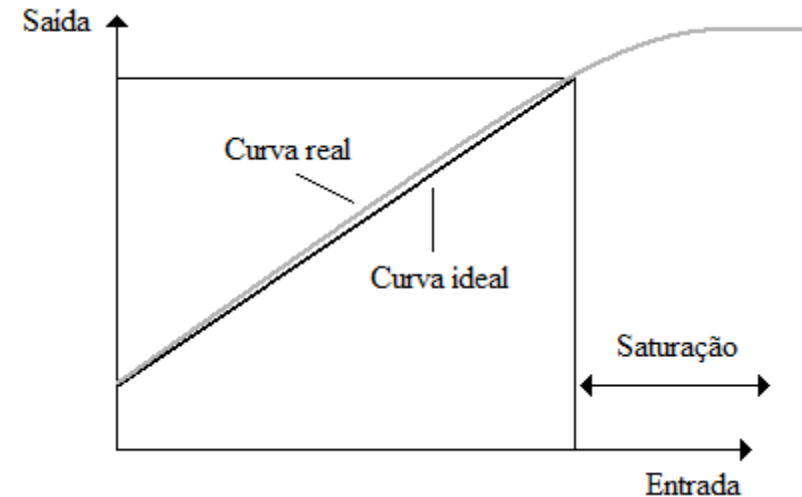
✚ Não Linearidade

- ✚ Esta é uma exactidão que se aplica a sensores cuja função de transferência se pode aproximar por uma linha recta.
- ✚ Nesse caso, o erro de não linearidade (Δ_L) é o máximo desvio em relação à recta obtida.
- ✚ Para ajustar a recta deve ser consultado o manual do sensor para saber qual o método utilizado pelo fabricante.



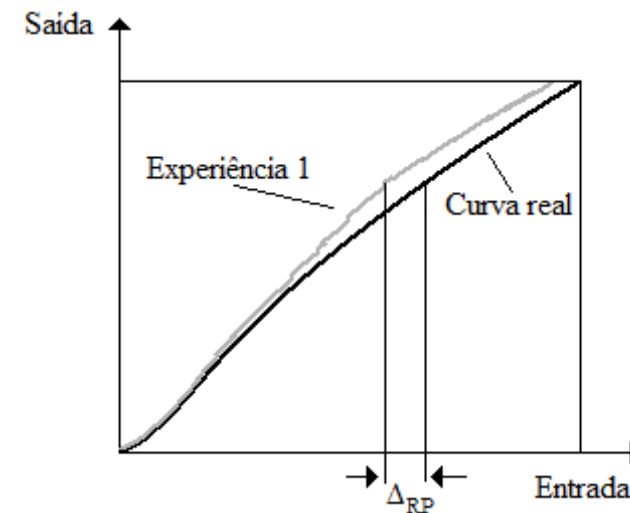
✚ Saturação

- ✚ Praticamente todos os sensores têm zonas finitas de operação. Ultrapassados os valores limites dessas zonas, o sensor deixa de responder correctamente e a sua saída não varia.



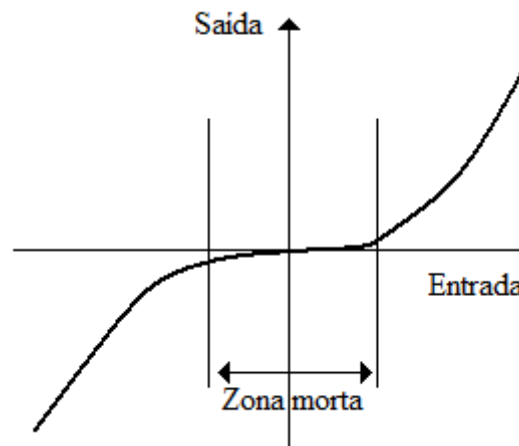
✚ Repetibilidade

- ✚ Este erro é causado pela incapacidade do sensor em produzir os mesmos resultados em condições idênticas.
- ✚ O maior desvio obtido, medido em termos do valor de entrada, é o erro de repetibilidade (Δ_{RP}).



✚ Zona Morta

- ✚ Certos sensores apresentam zonas de insensibilidade nas quais a saída se mantém praticamente invariável (normalmente nula).
- ✚ Diz-se então que essa é uma zona morta.



✚ Resolução

- ✚ A resolução é o valor mínimo à entrada que produz uma saída detectável.

CARACTERÍSTICAS DINÂMICAS

- ✚ Os sensores são totalmente descritos pelas características anteriores em condições estáticas.
- ✚ No entanto, quando a entrada varia a uma determinada frequência, a saída do sensor não acompanha a entrada com rigor.
- ✚ Esse é o resultado do facto do sensor não conseguir responder instantaneamente, pelo que existem algumas características dinâmicas importantes:
 - ✚ **Tempo antes de operação:** Tempo de repouso necessário após aplicada a potência ou sinal de excitação, para novo funcionamento.
 - ✚ **Resposta em frequência:** Define a velocidade de resposta a uma variação na entrada.

- ✦ **Phase Shift:** Define, para uma determinada frequência, o atraso do sinal de saída relativamente ao sinal de entrada.

- ✦ **Fiabilidade:** Expressa a possibilidade do sensor funcionar de acordo com as especificações por um determinado período de tempo.

- ✦ **Incerteza:** Existem várias fontes de incerteza numa qualquer medida efectuada por um sensor. Isto significa que o valor obtido é somente uma aproximação do valor real, só fazendo sentido quando forem conhecidas as incertezas associadas. Conhecidas essas incertezas, pode-se calcular a incerteza global:

$$\mu_c = \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2 + \dots + \mu_n^2}$$

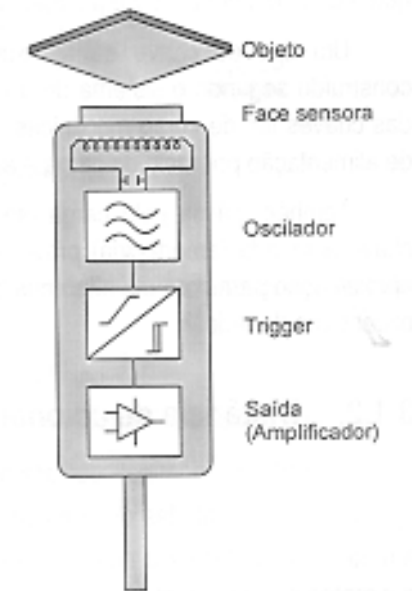
✦ De referir que a incerteza não é um valor máximo de erro mas um desvio padrão estatístico.

SENSORES DE POSIÇÃO

- Os sensores de posição são utilizados em várias aplicações em que a precisão e a sensibilidade do instrumento devem ser ajustadas em função do tipo de operação.

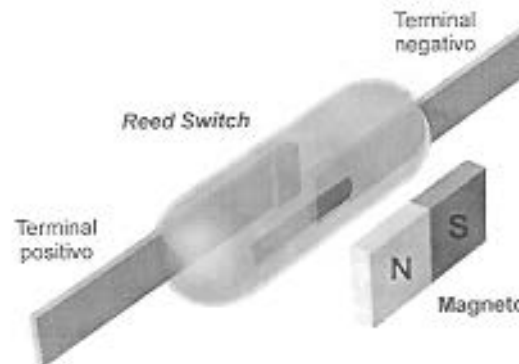
SENSORES DE PROXIMIDADE INDUTIVOS

- Dispositivos de proximidade sem contacto que utilizam um campo de frequência de rádio com oscilador e uma bobina.
- A presença de um objecto altera o campo magnético ao qual o circuito electrónico do sensor é sensível.
- A medida de proximidade, posição e deslocamento de objectos são essenciais em muitas aplicações diferentes: posição de válvula, detecção de nível, controlo de processo, controlo de máquina, segurança, etc.



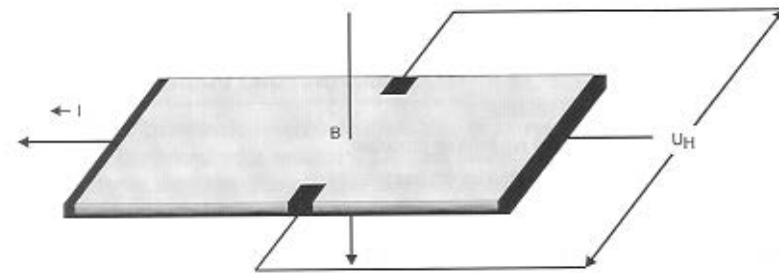
SENSORES DE PROXIMIDADE MAGNÉTICOS

- ✚ Baseiam-se na aplicação de um campo magnético, sendo esse campo convertido em sinais eléctricos. Podem ser electrónicos ou baseados na utilização de um *Reed Switch*.
- ✚ Um *Reed Switch* é um interruptor eléctrico que comuta por aplicação de um campo magnético. O dispositivo é projectado de modo que a presença do objecto na região do sensor active o comutador, enviando um sinal para o controlo.



✚ Os sensores electrónicos de proximidade magnéticos baseiam-se no efeito *Hall*. Os sensores *Hall* são dispositivos semicondutores cujo comportamento eléctrico pode ser influenciado por um campo magnético.

✚ Nos sensores de efeito *Hall* observa-se que, quando um condutor plano atravessado por uma corrente eléctrica é colocado num campo magnético, cujas linhas de fluxo estão perpendiculares à superfície do condutor, os electrões da corrente eléctrica são deslocados lateralmente, formando um ângulo recto em relação à direcção da corrente.



✚ A diferença de potencial chamada de tensão de *Hall* (U_H) que esse efeito produz é directamente proporcional à intensidade do campo (B), à corrente eléctrica (I) e à relação entre o coeficiente de *Hall* (R_H) e à espessura (d). A tensão de *Hall* é dada por:

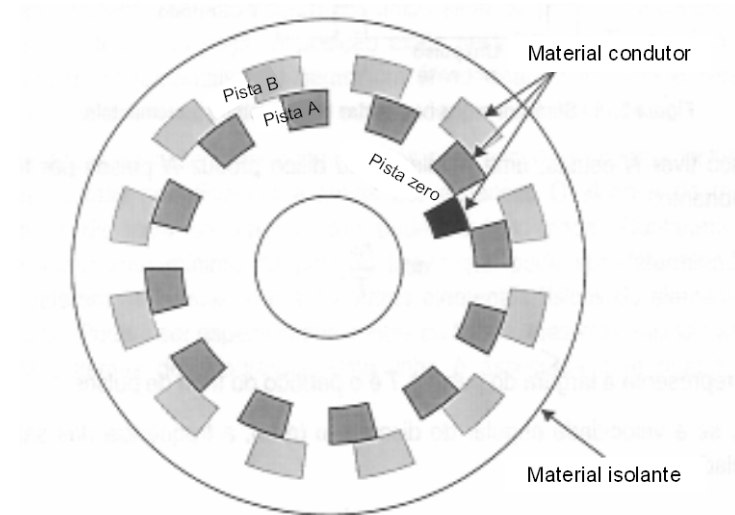
$$U_H = \left(\frac{R_H}{d} \right) \times I \times B .$$

ENCODERS

- ✚ O deslocamento é uma das poucas grandezas físicas que podem ser compreendidas como um valor digital sem o uso de um conversor analógico-digital.
- ✚ Os **Encoders** são dispositivos que convertem um deslocamento linear em pulsos.
- ✚ Há dois tipos de Encoder:
 - ✚ **Encoder Incremental**: indicam o deslocamento somente em relação a um ponto inicial de referência.
 - ✚ **Encoder Absoluto**: medem o deslocamento em relação a um ponto de referência interno do dispositivo. Esse tipo de sensor representa o deslocamento em incrementos codificados discretamente.

ENCODER INCREMENTAL

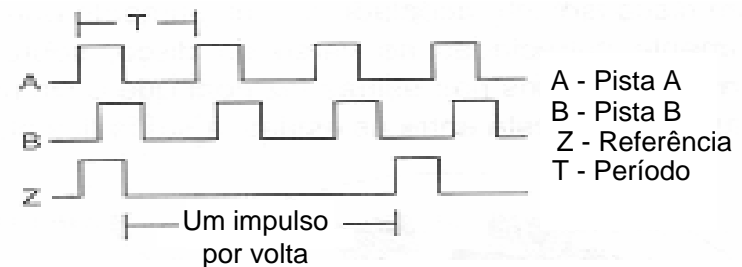
- ✚ Os encoders incrementais angulares podem ser fabricados com base em dois princípios diferentes: com condução eléctrica ou por transmissão de luz.
- ✚ Os encoders baseados na condução eléctrica apresentam estrias condutoras depositadas sobre a superfície de um disco isolante acoplado ao equipamento.
- ✚ As estrias são electricamente conectadas no verso do disco, sobre qual é mantido um potencial eléctrico. O contacto dos pinos nas estrias faz com que o circuito seja ligado, tornando a saída igual a 0V (nível lógico '0') e quando o pino está entre as estrias a saída assume o nível lógico '1'.



- Os encoders baseados no princípio da transmissão de luz funcionam basicamente da mesma forma que os sensores de condução eléctrica.
- Neste caso, os furos no disco representam o elemento condutor. Quando o emissor e o receptor de luz se encontram alinhados com os furos do disco, há a mudança do estado do sinal eléctrico na saída.
- Os discos dos encoders são construídos de tal forma que as saídas A e B estão desfasadas de 90°. A pista zero gera um impulso por revolução do disco e tem o objectivo de sincronização.



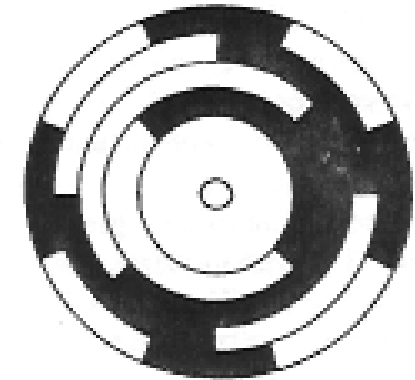
Rotação/Esquerda		Rotação/Direita
A...B		A...B
0 1	4 passos por unidade de resolução 0-escuro 1-luz	0 0
1 1		1 0
1 0		1 1
0 0		0 1



ENCODER ABSOLUTO

✚ Nos encoders ópticos absolutos produz-se um único código para cada posição angular de eixo.

✚ O princípio de funcionamento é baseado na codificação binária de áreas transparentes e opacas. Ao passar de 0 até 15, combinam simultaneamente 4 bits.



✚ Na prática, o alinhamento não é perfeito, pelo que se podem produzir erros de leitura. Para evita-lo usa-se o código *Gray*, no qual só 1 bit muda entre posições digitais consecutivas.

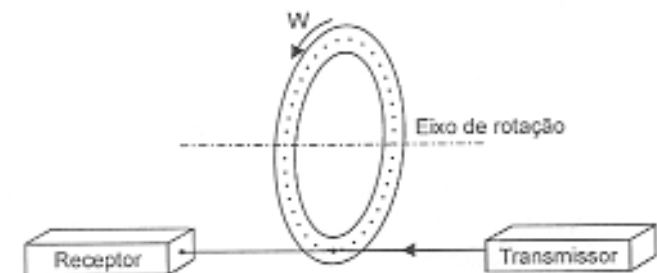
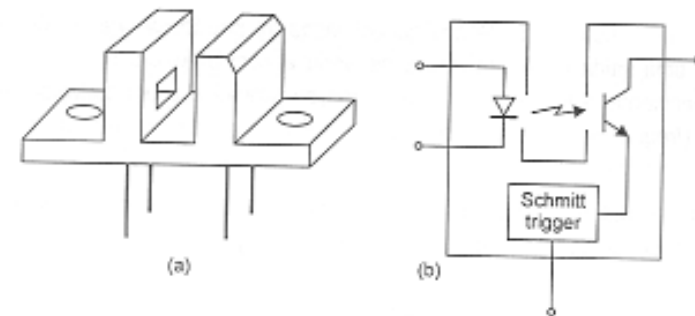
Número decimal	Número binário	Código Gray	Número decimal	Número binário	Código Gray
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011	10	1010	1111
3	0011	0010	11	1011	1110
4	0100	0110	12	1100	1010
5	0101	0111	13	1101	1011
6	0110	0101	14	1110	1001
7	0111	0100	15	1111	1000

SENSORES DE VELOCIDADE

- Os sensores de velocidade são utilizados em dispositivos como leitores de CD e DVD, bombas centrífugas, transportadores, medidores de fluxo de líquidos, robótica, máquinas automáticas de soldagem, etc.

ACOPLADOR ÓPTICO

- Esse sensor é constituído por um disco com furos acoplado ao eixo de um motor e um par optoelectrónico (transmissor e receptor).
- A contagem dos impulsos gerados pela condução/interrupção de luz permite determinar o ângulo de rotação do disco. A derivação de um número de impulsos no tempo permite determinar a velocidade de rotação.

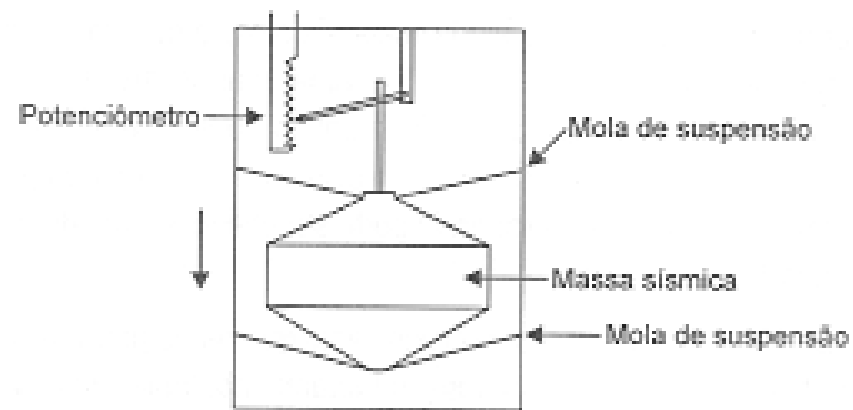


SENSORES DE ACELERAÇÃO

- ✚ Os sensores de aceleração (acelerómetros e giroscópios) fornecem um sinal eléctrico proporcional à aceleração do sistema. Estes componentes são do tipo inercial e dão indicação sobre o movimento do sistema em relação a uma variável do eixo inercial.
- ✚ Um acelerómetro é uma configuração de diversos componentes que convertem a aceleração numa tensão eléctrica analógica. De um ponto de vista geral, um acelerómetro pode ser considerado um transdutor que converte a energia mecânica associada ao movimento na forma eléctrica.
- ✚ Os acelerómetros podem ser usados como instrumentos para ver as mudanças na velocidade (isto é aceleração) devido ao choque, vibração ou impacto.
- ✚ São principalmente utilizados em aplicações de medição de vibração. São também empregues, em grande escala, em sistema de navegação de navios, aviões, satélites, etc.

ACELERÓMETROS DE DESLOCAMENTO

- ✚ Este componente fornece uma tensão eléctrica de saída proporcional à aceleração. Com uma integração da variável de saída teremos uma tensão proporcional à velocidade de deslocamento e com uma posterior integração teremos uma nova saída proporcional ao deslocamento.



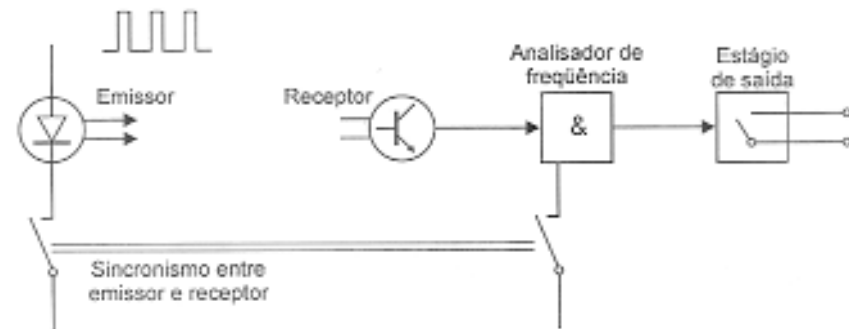
- ✚ O acelerómetro mecânico mede, na realidade, a força de inércia sobre uma massa. Como a aceleração é proporcional a essa força, o dispositivo pode ser calibrado em aceleração. O invólucro do instrumento é fixado ao objecto cuja aceleração se quer medir.

SENSORES DE PRESENÇA

SENSORES ÓPTICOS

✚ São componentes electrónicos de sinalização e comando que executam detecção de qualquer material sem que haja contacto mecânico entre eles.

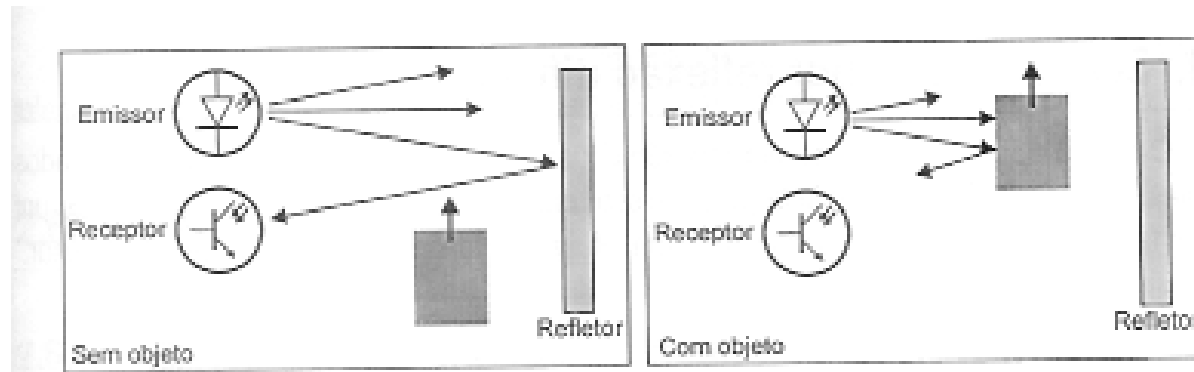
✚ O princípio de funcionamento do sensor óptico baseia-se na existência de um emissor e um receptor. A luz gerada pelo emissor deve atingir o receptor com intensidade suficiente para fazer com que o sensor comute sua saída.



✚ O sinal de luz gerado pelo emissor do sensor óptico é modulado numa determinada frequência. O receptor do sinal do sensor é acoplado a um filtro que somente considera sinais com a mesma frequência do emissor. Essa característica é empregue no sensor óptico para minimizar os efeitos de possíveis interferências causadas por outras fontes luminosas que não o emissor.

SENSOR ÓPTICO POR REFLEXÃO

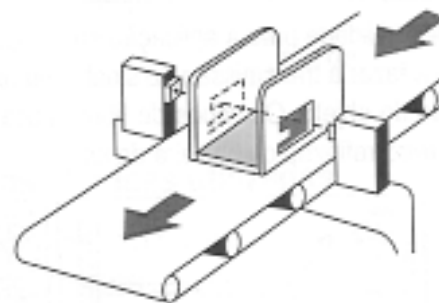
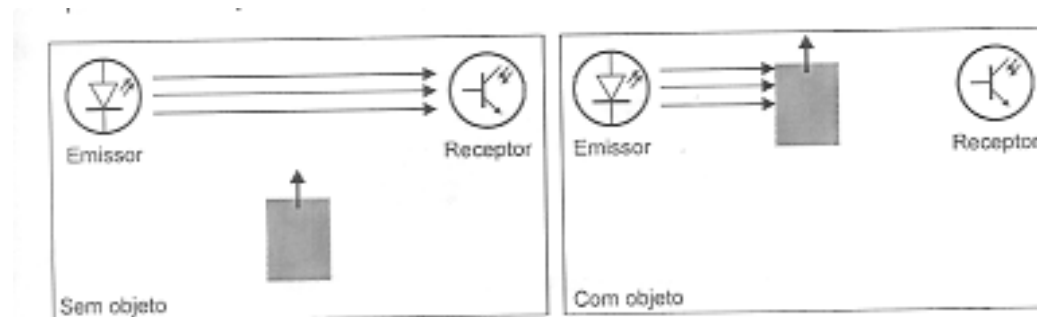
- Neste tipo de sensor o emissor e o receptor estão montados no mesmo corpo. Um feixe de luz é estabelecido entre o emissor e o receptor por intermédio do reflector. O sensor é activado quando o objecto interrompe o feixe de luz. O objecto detectado pode deixar passar uma baixa intensidade luminosa desde que o limiar de detecção seja atingido.



- Uma falha no emissor deste tipo de sensor faz com que ele interprete como se o objecto estivesse presente.

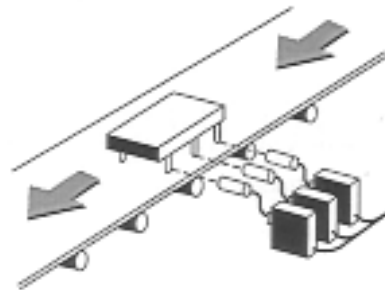
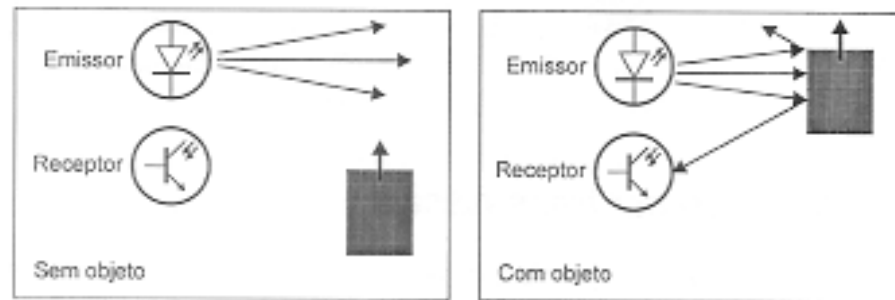
SENSOR ÓPTICO POR TRANSMISSÃO

- ✚ O sensor óptico de detecção por barreira de luz, ou transmissão, possui o emissor e o receptor montados em dispositivos separados. Ao serem alinhados, os dois componentes criam entre si uma barreira de luz. A presença de um objecto interrompendo essa barreira faz com que o sensor seja activado.



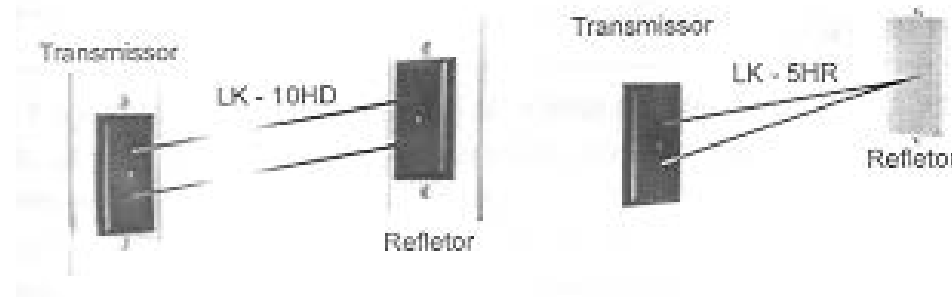
SENSOR ÓPTICO POR REFLEXÃO DIFUSA

- ✚ O sensor óptico de detecção por reflexão difusa possui o emissor e o receptor montados no mesmo dispositivo. A luz emitida pelo emissor cria uma região activa cuja presença de um objecto faz que a luz reflectida de forma difusa, de volta ao receptor, activando o sensor.



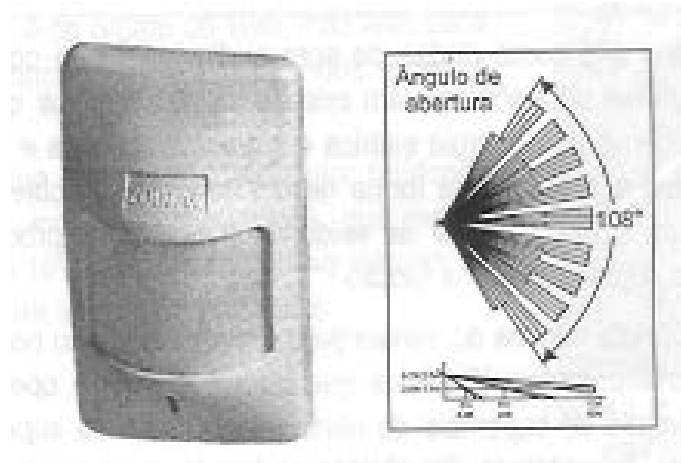
SENSORES DE INFRAVERMELHO ACTIVOS

- ✚ Este tipo de sensor tem o mesmo princípio de funcionamento dos sensores ópticos do tipo barreira, porém utilizados em outro tipo de aplicação (alarmes – sistema de controlo de intrusão).
- ✚ É constituído por um transmissor e um receptor e possui um suporte ajustável para fácil alinhamento do feixe.
- ✚ É essencialmente utilizado em aplicações de segurança, como: alarmes, iluminação automática, portas de garagem, etc.



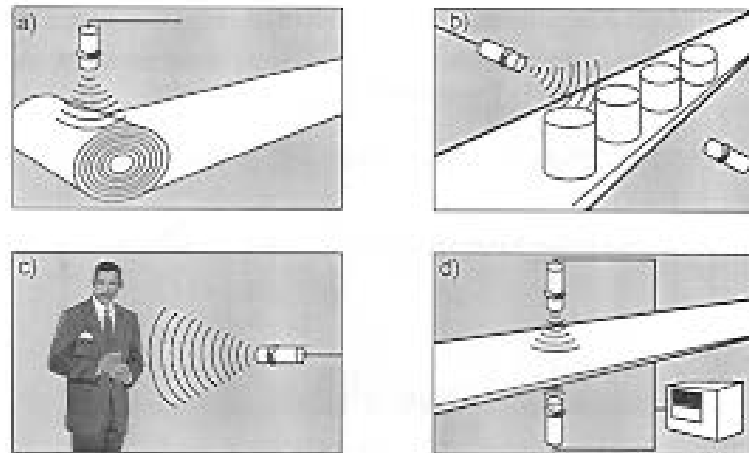
SENSORES DE INFRAVERMELHO PASSIVOS

- ✚ Trata-se apenas de um receptor de infravermelho com ajuste de sensibilidade.
- ✚ É utilizado principalmente para alarmes de intrusão, pois detecta o calor humano a uma distância razoável (15 a 25 m). O elemento sensível desse tipo de sensor é pirotérmico integrado.



BARREIRA ULTRA-SÓNICA

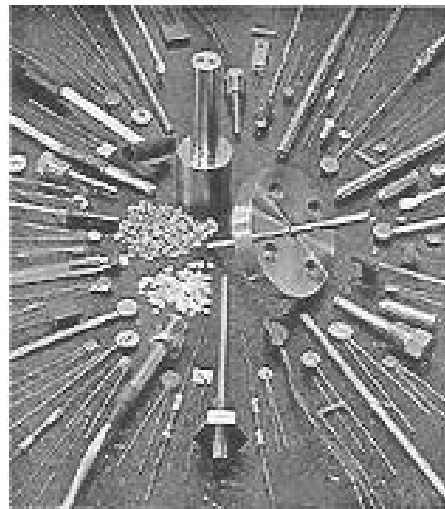
- ✚ Os sinais ultra-sónicos são como ondas de som audíveis, porém com frequência muito mais altas.
- ✚ Os transdutores ultra-sónicos possuem cristais piezoeléctricos que vibram a uma frequência desejada e convertem energia eléctrica em energia acústica e vice-versa. As ondas sonoras são transmitidas e reflectidas na forma de um cone de um objecto para o transdutor.



SENSORES DE TEMPERATURA

TERMISTORES

- Os termistores (*Thermally Sensitive Resistor*) são resistências termicamente sensíveis. São semicondutores electrónicos cuja resistência eléctrica varia com a temperatura.

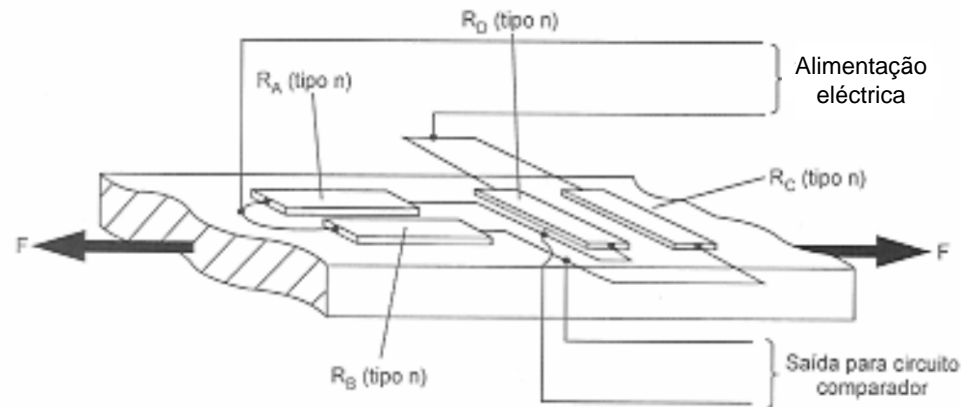


- São úteis industrialmente para detecção automática, medição e controlo de energia. Os termistores são extremamente sensíveis a mudanças relativamente pequenas de temperatura.

SENSORES DE PRESSÃO

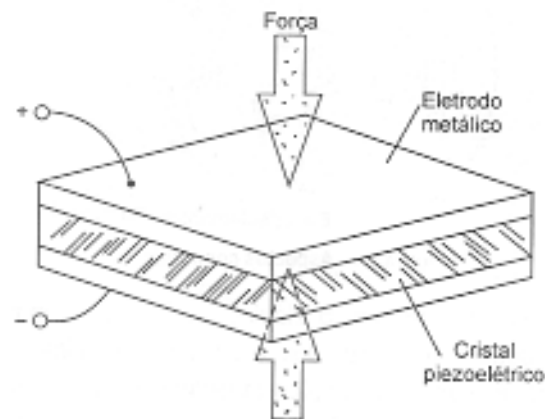
CÉLULAS DE CARGA

- ✚ São estruturas mecânicas, planeadas para receber esforços e deformar-se dentro do regime elástico para que foram planeadas. Embora pequena, essa deformação é suficiente para gerar um sinal de saída linear e compatível com a carga aplicada.
- ✚ O princípio de funcionamento das células de carga baseia-se na variação da resistência de um extensómetro (componente que varia a sua resistência eléctrica com a deformação).



TRANSDUTOR DE PRESSÃO PIEZOELÉCTRICO

- Estes transdutores baseiam-se na propriedade piezoelétrica do cristal de quartzo que, quando deformado elasticamente, gera um potencial eléctrico aos terminais colocados nos planos perpendiculares à força de deformação.

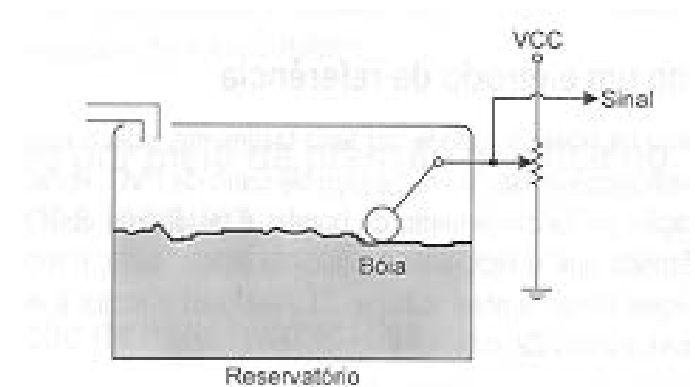


SENSORES DE NÍVEL

- ✚ Os sensores de nível são utilizados para o controlo de líquidos ou grãos sólidos, contidos em reservatórios, tanques abertos, etc.
- ✚ São úteis na detecção de um nível fluxo e na medição contínua. São baseados nos princípios da flutuação do filósofo Arquimedes, embora de tecnologia remota, permanecem como dispositivos de escolha para muitas aplicações.

FLUTUADORES COM ACCIONAMENTO POR POTENCIÓMETRO

- ✚ Um potenciómetro é ligado na extremidade do flutuador, no qual a tensão de saída varia proporcionalmente ao nível do líquido.



FLUTUADORES COM ACCIONAMENTO DE MERCÚRIO

- ✚ Um interruptor de mercúrio protegido contra choques é suspenso pelo seu próprio cabo eléctrico ou numa haste metálica.
- ✚ No caso do cabo eléctrico, quando o nível do líquido sobe e toca na parte inferior da bóia, ele inclina e neste momento o interruptor de mercúrio abre, ou fecha, um contacto, dependendo do modelo, permitindo ou impedindo a passagem eléctrica.
- ✚ No caso da haste metálica, o sistema é composto por uma haste rígida com uma bóia na extremidade inferior e um núcleo de accionamento na parte superior. Quando o nível do tanque sobe, a bóia desloca-se, acompanhando o nível, empurrando a haste com o núcleo, o qual acciona uma ampola de mercúrio.

