



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO TÉCNICO INDUSTRIAL DE SANTA MARIA
Curso de Eletrotécnica**



Apostila de Automação Industrial

Elaborada pelo Professor M.Eng. Rodrigo Cardozo Fuentes

Prof. Rodrigo C. Fuentes
Campus- UFSM – Prédio 5
Email: fuentes@smail.ufsm.br
Web-site: w3.ufsm.br/fuentes

**SANTA MARIA – RS
2005**

ÍNDICE

3. SENSORES	3.1
3.1. Introdução:	3.1
3.2. Definição de sensor:	3.1
3.2.1. <i>Exemplos de aplicações</i>	3.2
3.3. Tipos de Sensores	3.3
3.3.1. <i>Sensores discretos</i>	3.3
3.3.1.1 Características dos sensores discretos eletromecânicos e eletrônicos:	3.4
3.3.2. <i>Sensores analógicos</i>	3.4
3.3.2.1 Características dos Sensores Analógicos	3.5
3.3.2.2 Grau de proteção de sensores segundo a norma internacional	3.7
3.4. Sensores de Proximidade Discretos	3.8
3.4.1. <i>Definições Básicas:</i>	3.10
3.4.2. <i>Simbologia</i>	3.11
3.4.3. <i>Configurações Elétricas em Corrente Contínua:</i>	3.12
3.4.3.1 Função de Saída:	3.13
3.4.3.2 Principais Parâmetros Elétricos:.....	3.13
3.4.3.3 Sensores de Corrente Contínua Tipo Namur:	3.14
3.4.3.4 Fonte de alimentação:	3.14
3.4.4. <i>Configurações Elétricas em Corrente Alternada</i>	3.14
3.4.5. <i>Cuidados na Instalação:</i>	3.15
3.4.6. <i>Sensores de Proximidade Indutivos</i>	3.17
3.4.7. <i>Sensores de Proximidade Capacitivos</i>	3.18
3.4.8. <i>Sensores de Proximidade Fotoelétricos</i>	3.20
3.4.8.1 Princípio de Funcionamento:	3.20
3.4.8.2 Sistema por Barreira Direta:	3.20
3.4.8.3 Sistema por Difusão (Fotosensor):	3.20
3.4.8.4 Sistema Retro-Refletivo:.....	3.21
3.4.9. <i>Sensores de Proximidade Ultrasônicos</i>	3.24
3.4.9.1 Princípio de Operação	3.24
3.4.9.2 Características Técnicas	3.26
3.4.9.3 Observações práticas:	3.26
3.4.9.4 Exemplos de aplicações de sensores de proximidade ultrasônicos	3.29

3. SENSORES

3.1. Introdução:

Se você não olhasse, não ouvisse, não sentisse o toque, o cheiro e o gosto do mundo, como saberia que ele existe?

A gente "pega" o mundo através dos cinco sentidos. São eles que transmitem ao cérebro uma série de sensações importantes. O mundo é apresentado ao homem através de cinco informações diferentes: o cheiro (olfato), o som (audição), a imagem (visão), a sensação de tocá-lo (tato), e, por fim, o gosto (paladar). Os sentidos funcionam o tempo todo como verdadeiros informantes do mundo exterior.



O Corpo Humano



Elementos Sensores



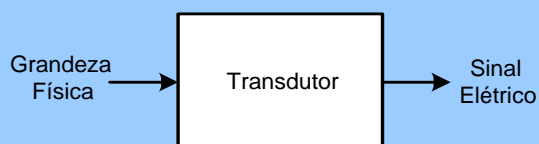
O Olho

O elemento sensor é o elo entre o mundo externo e o nosso cérebro. Raciocinando de forma análoga pode-se dizer que os elementos sensores são os responsáveis pela tradução dos fenômenos físicos em sinais compreensíveis ao controlador de processo.

3.2. Definição de sensor:

Dispositivo que converte uma grandeza física de qualquer espécie em outro sinal que possa ser transmitido a um elemento indicador, para que este mostre o valor da grandeza que está sendo medida ou que seja inteligível para o elemento de comparação de um sistema de controle.

Os elementos sensores são denominados transdutores quando convertem a grandeza de entrada para uma grandeza elétrica, como corrente, tensão ou resistência elétrica.



Lembrando:

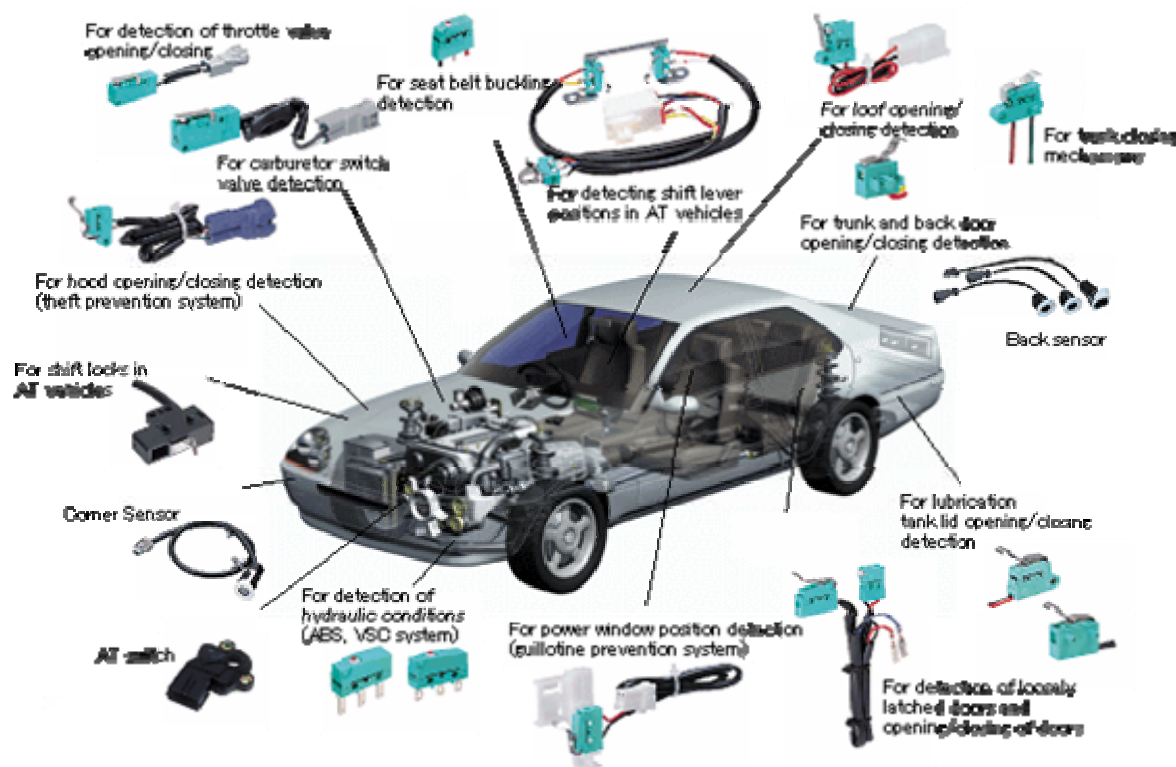
- **Tensão elétrica (V)** corresponde à diferença de potencial elétrico entre dois pontos de um circuito elétrico.
- **Corrente elétrica (A):** é o fluxo de cargas elétricas através de um condutor por unidade de tempo.
- **Resistência elétrica (Ω):** grandeza que caracteriza a propriedade de um elemento de circuito de converter energia elétrica em calor, quando percorrido por corrente.

3.2.1. Exemplos de aplicações

O sistema de alarme é um exemplo típico e atual de utilização de sensores. Mas há uma variedade de áreas em que os sensores encontram aplicação. Num automóvel, por exemplo, identificamos várias dessas aplicações:

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

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



Aplicações dos sensores em um automóvel

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

O processo de usinagem é também um exemplo de aplicação de sensores, principalmente se o processo for automático (controlado por computador). No processo de usinagem manual, os sensores são os olhos do operador, que coordena a produção controlando a máquina de usinagem (fresadora ou torno) por meio de instrumentos de medida, como paquímetros e micrômetros.

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

3.3. Tipos de Sensores

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

- **Sinal discreto ou digital:** sinal quantificado que indica a existência ou não de um evento. Pode assumir os valores zero ou um ou uma combinação destes.
- **Sinal analógico:** sinal cuja informação pode assumir qualquer valor dentro de uma determinada faixa (range).

Portanto podem-se classificar os sensores de acordo com a natureza do sinal de saída em:

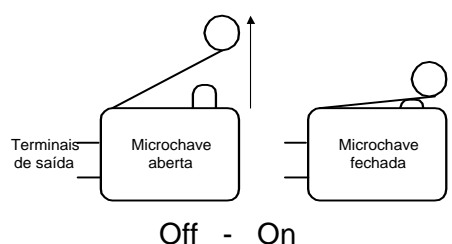
- Sensores discretos
- Sensores analógicos

3.3.1. Sensores discretos

Os sensores discretos são utilizados para monitorar a ocorrência ou não de um determinado evento. Apresentam em sua saída dois estados distintos como ligado (on) ou desligado (off) ou a presença ou ausência de determinada grandeza elétrica.



Microswitch



Podem ser dispositivos eletromecânicos simples e de baixo custo como microswitchs e interruptores fim de curso. Ou eletrônicos como os sensores de proximidade indutivos e capacitivos.



Sensores discretos eletrônicos

3.3.1.1 Características dos sensores discretos eletromecânicos e eletrônicos:

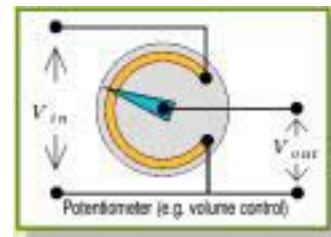
<i>Eletromecânicos</i>	<i>Eletrônicos</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Necessidade de contato físico com o alvo; - Baixa velocidade de resposta; - Baixa frequência de comutação; - Vida útil limitada dos contatos; - Baixo custo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Não necessita contato físico com o alvo; - Alta velocidade de resposta; - Alta frequência de comutação; - Não apresenta limitações de ciclos de operação; - Custo elevado.

3.3.2. Sensores analógicos

Os sensores analógicos são utilizados para monitorar uma grandeza física em uma faixa contínua de valores estabelecidos entre os limites mínimo e máximo. Apresentam em sua saída um sinal de tensão ou corrente ou resistência proporcional a grandeza física sensorizada.



Indicação de uma grandeza analógica



Potenciômetro como divisor de tensão

3.3.2.1 Características dos Sensores Analógicos

Faixa (Range)

Define-se como faixa ou range (do inglês) a todos os níveis de amplitude da grandeza física medida nos quais se supõe que o sensor possa operar dentro da precisão especificada. Assim, por exemplo, um sensor de pressão pode ser fabricado para operar de 60mmHg até 300mmHg. A amplitude dessa escala é definida como faixa.

Em alguns casos, esta faixa depende do dispositivo sensível, por exemplo num sensor de pressão capacitivo, pode depender do máximo deslocamento da membrana flexível que é pressionada. Em outros casos de sensores analógicos, pode depender do circuito eletrônico encarregado de gerar a sinal elétrico de saída. A amplitude desse sinal necessariamente vai ter um valor máximo e um valor mínimo, que vão determinar por correspondência os limites máximo e mínimo da grandeza física mensurada, determinando assim a faixa do sensor.

Resolução

Define-se como resolução o menor incremento da grandeza física medida que provoca uma mudança no sinal de saída do sensor.

Sensibilidade

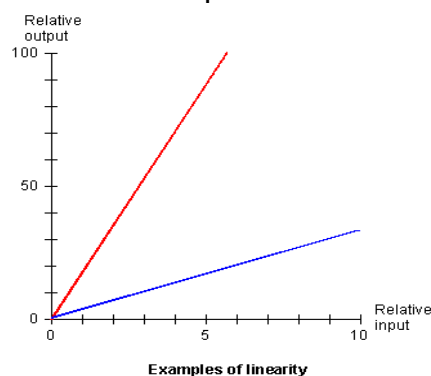
A sensibilidade é a relação entre o sinal elétrico entregue na saída e a grandeza física medida. Por exemplo, um sensor de pressão poderia ter uma sensibilidade de 3mV/mmHg, a qual significa que para cada mmHg que mude a pressão medida, o sinal elétrico entregue na saída mudará 3mV.

Linearidade

Dado um determinado sensor, se para variações iguais da grandeza física medida obtém-se variações iguais do sinal entregue, então se define o sensor como linear, caso contrário, define-se como não-linear.

Uma outra forma de chegar a mesma conclusão é afirmando que se a sensibilidade é constante para qualquer grandeza física medida dentro da faixa, então o sensor é linear,

Evidentemente, o caso ideal é que o sensor seja linear, mas, caso o sensor seja não-linear, uma forma de determinar quão grave é essa não-linearidade é medir o máximo erro do sinal de saída dividido pela faixa de valores possíveis, Essa relação pode ser expressada em termos percentuais e define-se como linearidade.



Exatidão ou Erro

Dada uma determinada grandeza física a ser medida, exatidão é a diferença absoluta entre o valor real do sinal de saída entregue pelo sensor e o sinal ideal que este deveria fornecer para esse valor da grandeza física. Este erro poderia se representar em termos percentuais dividindo essa diferença pela faixa.

Relação Sinal/Ruído

É a relação entre a potência de um sinal qualquer entregue na saída do instrumento e a potência do sinal de ruído, medida como o sinal de saída com informação de entrada nula. Isto é, se a amplitude da grandeza física medida for igual à zero, e o sensor entregar um sinal de uma amplitude determinada, esse sinal é considerado como ruído. Esta relação pode ser expressada também em termos percentuais ou em dB (decibéis), unidade que representa vinte vezes o logaritmo da relação sinal/ruído.

Resposta em Freqüência

Qualquer sistema eletrônico que manuseia sinais elétricos tem suas limitações em freqüência, isto é, sinais em determinadas freqüências são reproduzidos e em outras não. Não é diferente no caso dos sensores. Se a grandeza física medida variar sua amplitude com uma determinada freqüência, é possível que o sinal elétrico entregue pelo sensor reproduza essas mudanças com a amplitude adequada, mas se a freqüência dessas mudanças na grandeza física aumentar, é possível que o sinal de saída entregue pelo sensor diminua sua amplitude em função da freqüência dessas mudanças. Desta forma, define-se a resposta em freqüência de um sensor como a faixa do espectro que este consegue reproduzir.

O diagrama de Bode é usualmente utilizado para representar essa informação. Pela teoria de Bode, define-se a faixa de passagem, ou largura da faixa, como o intervalo de freqüências em que, para uma determinada amplitude de entrada, a potência do menor sinal de saída é maior ou igual à metade da potência do maior sinal. Por consequência, a relação entre as amplitudes do menor sinal e o maior sinal é 0,707 (1/√2), ou, expressado em decibéis, -3 dB.

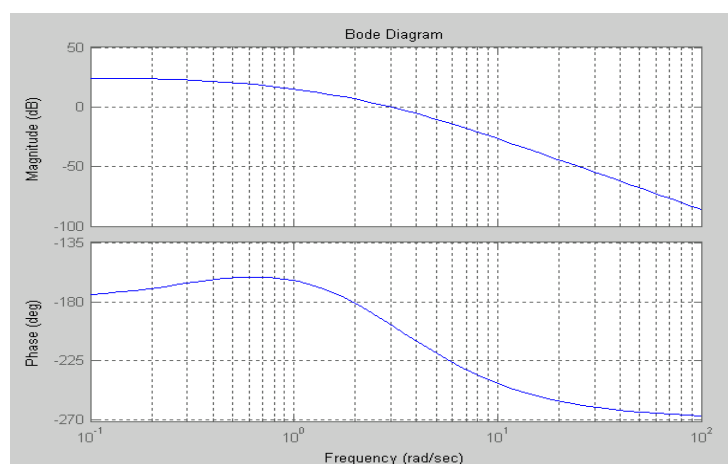


Diagrama de Bode

3.3.2.2 Grau de proteção de sensores segundo a norma internacional

IPXX

Primeiro Algarismo	Descrição
0	Proteção não especificada.
1	Proteção contra a penetração de corpos sólidos com diâmetro maior que 50mm.
2	Proteção contra a penetração de corpos sólidos com diâmetro maior que 12mm.
3	Proteção contra a penetração de corpos sólidos com diâmetro maior que 2,5mm
4	Proteção contra a penetração de corpos sólidos com diâmetro maior que 1mm.
5	Proteção contra depósitos prejudiciais de pó. Não há a proteção total quanto a penetração de pó, entretanto ele não penetra em quantidade suficiente para causar falha de operação.
6	Proteção total contra a penetração de pó.

IPXX

Segundo Algarismo	Descrição
0	Proteção não especificada.
1	Proteção contra água gotejando verticalmente.
2	Proteção contra água gotejando até 150 graus da sua posição normal.
3	Proteção contra água gotejando até 60 graus da posição vertical.
4	Proteção contra spray de água vindos de qualquer direção.
5	Proteção contra jatos de água vindos de qualquer direção.
6	Proteção contra jatos fortes de água vindos de qualquer direção.
7	Proteção contra água, é possível a imersão sob determinadas condições de temperatura e pressão.
8	O equipamento pode operar submerso permanentemente sob as condições descritas pelo fabricante.

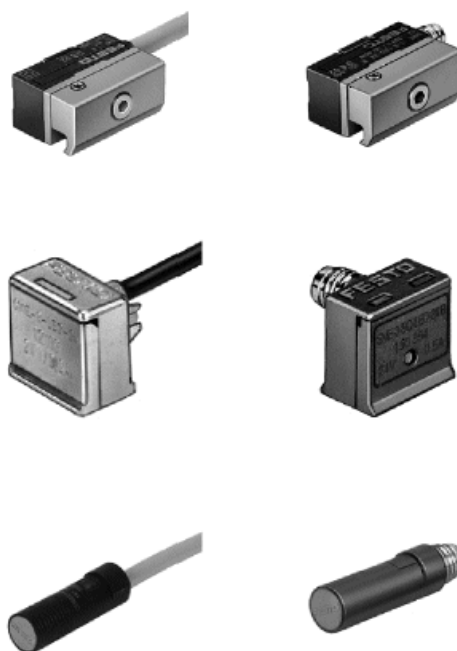
3.4. Sensores de Proximidade Discretos

Os sensores de proximidade discretos detectam a presença ou não de um determinado objeto, em uma determinada posição do espaço.

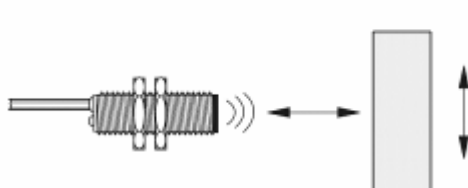
Muitos sistemas de produção utilizam chaves eletromecânicas para a determinação da posição dos movimentos que são executados. Entretanto estes componentes necessitam de contato físico e apresentam limitações quanto a velocidade de atuação. A atual tecnologia eletrônica permitiu o desenvolvimento de diversos modelos de sensores de proximidade com características específicas para as mais variadas aplicações.

Exemplos de sensores de proximidade:

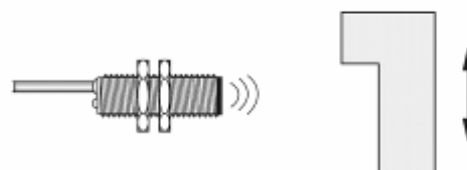
- Magnéticos
- Indutivos
- Capacitivos
- Óticos
- Ultrasônicos



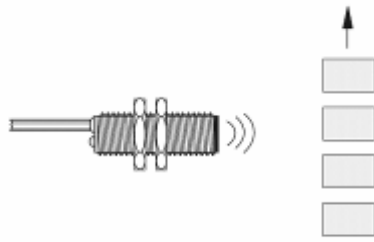
Aplicações:



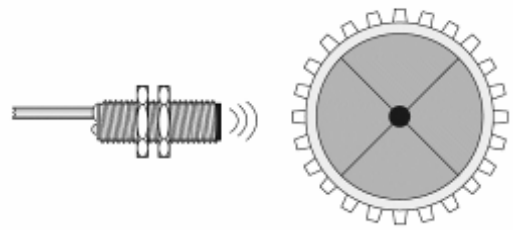
Detecção de posição



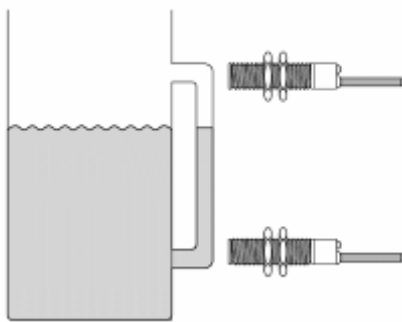
Detecção de posição relativa



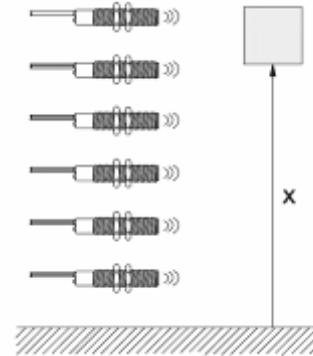
Contagem de peças



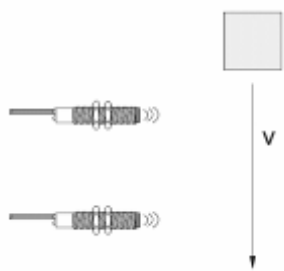
Velocidade de rotação



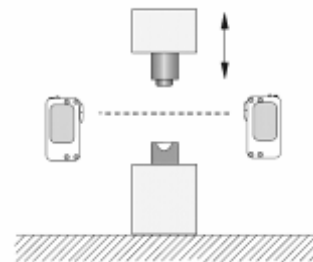
Deteção de nível



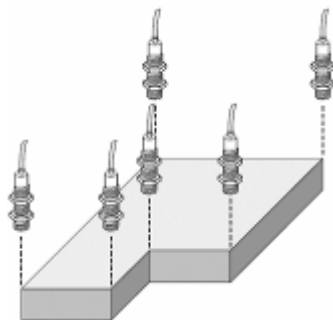
Deteção de altura



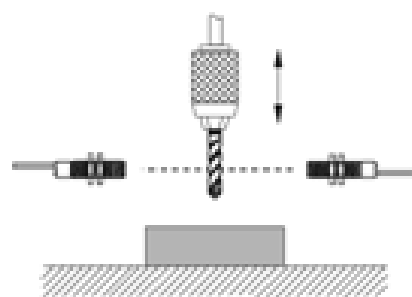
Medida de velocidade



Proteção e segurança



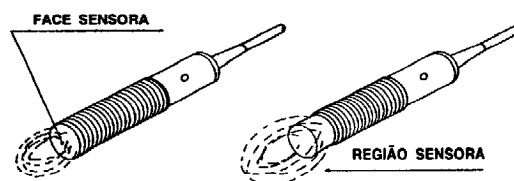
Deteção de forma



Deteção de ferramenta

3.4.1. Definições Básicas:

Face Sensora: É a superfície de onde emerge o campo eletromagnético dos sensores indutivos ou o campo elétrico dos sensores capacitivos.



Distância Sensora Nominal (Sn): É a distância sensora teórica, a qual utiliza um alvo padrão como acionador e não considera as variações causadas pela industrialização, temperatura de operação e tensão de alimentação. É o valor em que os sensores de proximidade são especificados. Como utiliza o alvo padrão metálico, a distância sensora nominal informa também a máxima distância que o sensor pode operar.

Distância Sensora Operacional (Sa): É a distância em que seguramente pode-se operar, considerando-se todas as variáveis de industrialização, temperatura e tensão de alimentação.

$$S_a \leq 0,81 S_n$$


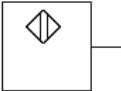
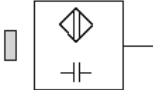



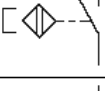

Alvo Padrão: É um acionador normalizado utilizado para calibrar a distância sensora nominal durante o processo de fabricação do sensor. Consiste de uma chapa de aço de 1mm de espessura, formato quadrado. O lado deste quadrado é igual ao diâmetro do círculo da face sensora ou 3 vezes a distância sensora nominal quando o resultado for maior que o anterior.

Histerese: É a diferença entre o ponto de acionamento (quando o alvo aproxima-se da face sensora) e o ponto de desacionamento (quando o alvo afasta-se do sensor). Este valor é importante, pois garante uma diferença entre o ponto de acionamento e desacionamento, evitando que em uma possível vibração do sensor ou acionador, a saída oscile.

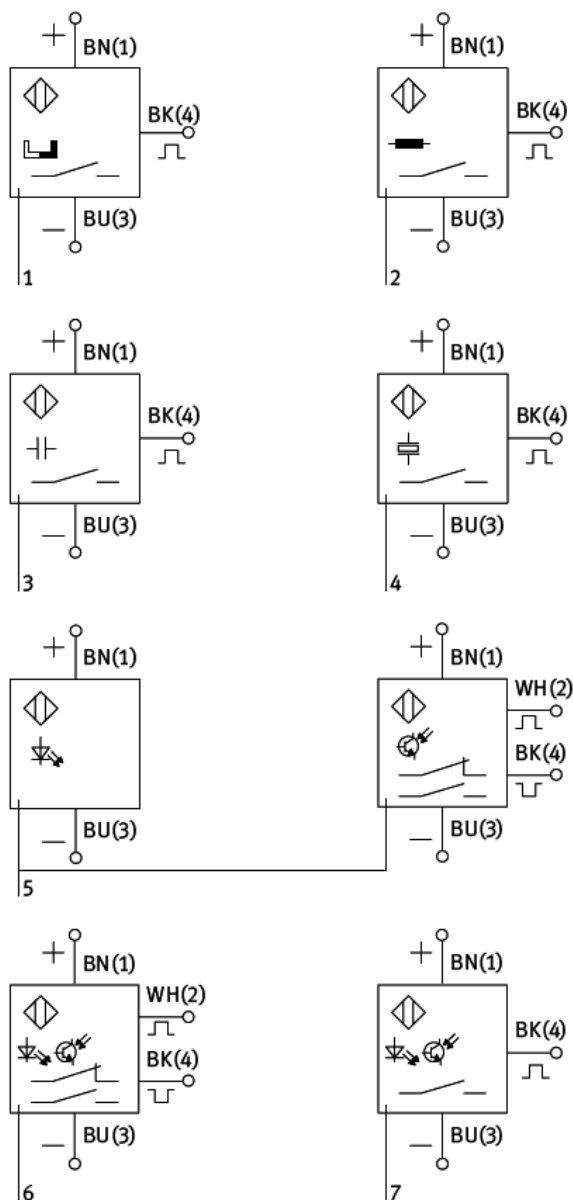


3.4.2. Simbologia

Circuit symbols for proximity sensors

Circuit symbols	Description
	Proximity sensor
	Approach-sensitive device, block symbol
	Note: Method of operation to be specified Example: Approach-sensitive device, capacitive, reacts to approach of a solid object
	Contact sensor
Circuit symbols	Description
	Contact-sensitive sensor (normally open contact)
	Proximity-sensitive sensor (normally open contact)
	Proximity-sensitive sensor (normally open contact), actuated by approach of a magnet
	Proximity-sensitive sensor (normally closed contact), actuated by approach of ferrous object

Circuit symbols for sensors to standard DIN 40 900



- Magnetic proximity sensor (1)
- Inductive proximity sensor (2)
- Capacitive proximity sensor (3)
- Ultrasonic proximity sensor (4)
- Through-beam optical sensor, Emitter and receiver in separate housing, Receiver with 2 switching outputs (5)
- Optical proximity sensor, Emitter and receiver in one housing, 2 switching outputs (6)
- Optical proximity sensor, Receiver and emitter in one housing, 1 switching output (7)

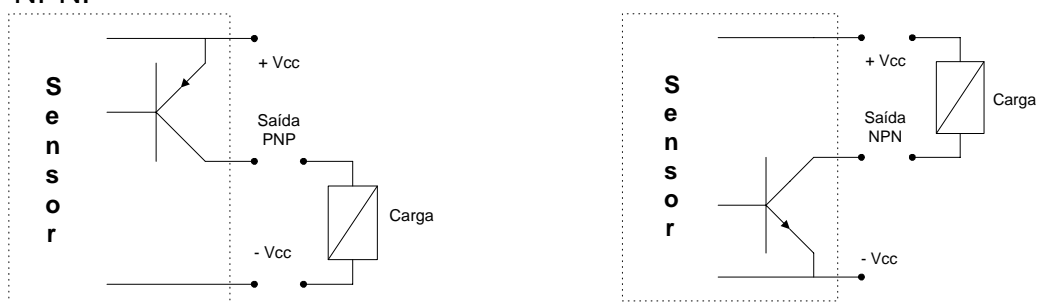
Examples of circuit symbols

3.4.3. Configurações Elétricas em Corrente Contínua:

Os sensores de proximidade possuem diferentes tipos de estágios de saída, o que chamamos de configuração elétrica do sensor. A configuração elétrica em

corrente contínua, é muito usada na área de automação de processos e sempre deve ser a primeira opção durante o projeto.

Os sensores de proximidade em corrente contínua são alimentados por uma fonte em CC e possuem no estágio de saída um transistor que tem como função comutar (ligar e desligar) a carga conectada ao sensor. Existem ainda dois tipos de transistor de saída, um que comuta o terminal positivo da fonte de alimentação, conhecido como PNP e o tipo que comuta o negativo da fonte, conhecido como NPN.



3.4.3.1 Função de Saída:

Os sensores de corrente contínua podem possuir 3 ou 4 fios, sendo dois para a alimentação (fonte CC) e os outros de acordo com o número de funções de saída.

Normalmente Aberto - NA: Onde o transistor de saída está normalmente cortado, ou seja: com o sensor desatuado (sem o acionador na região de sensibilidade), a carga está desenergizada pois o transistor de saída está aberto (cortado). A carga será energizada quando o acionador entrar na região de sensibilidade do sensor.

Normalmente Fechado - NF: Onde o transistor de saída está normalmente saturado, ou seja: com o sensor desatuado (sem o acionador na região de sensibilidade), a carga está energizada, pois o transistor de saída está fechado (saturado). A carga só será desenergizada quando o acionador entrar na região de sensibilidade do sensor.

Saída Reversora: Em um mesmo sensor, podemos ter uma saída normalmente aberta e outra normalmente fechada que permutam quando o sensor é acionado.

3.4.3.2 Principais Parâmetros Elétricos:

- **Corrente de Chaveamento:** Esta é uma das características mais importantes dos sensores de corrente contínua, pois determina a potência da carga. É conceituada como a máxima corrente que pode ser comutada pelo transistor de saída sem danificá-lo. Se o sensor não possui um circuito de proteção contra curto circuito, qualquer sobrecarga danificará permanentemente o transistor de saída.
- **Tensão de Alimentação:** normalmente, os sensores de proximidade indutivos apresentam uma faixa para a tensão de alimentação, onde o sensor pode operar em qualquer tensão dentro da faixa, ex: 10 a 30Vcc.

3.4.3.3 Sensores de Corrente Contínua Tipo Namur:

Esta configuração é muito semelhante aos sensores de corrente contínua convencionais, diferenciando-se apenas por não possuir o estágio de saída, com o transistor de chaveamento. Sendo normalmente utilizada para sensores indutivos de pequenas dimensões, onde circuitos eletrônicos mais complexos e maiores não seriam possíveis de montar.

Outras aplicações para os sensores Namur são em atmosferas potencialmente explosivas de Indústrias Químicas e Petroquímicas, pois não possuem estágio de saída comutando potências elevadas. Podem ser construídos segundo as Normas de Segurança, que prevêm a manipulação de baixa energia elétrica evitando a detonação da atmosfera química por faíscas elétricas ou pelo efeito térmico de superfície.

Princípio de Funcionamento:

Foram especialmente projetados segundo as especificações da Norma Técnica DIN19234, que prevê o sensor sem o estágio de saída. O circuito consome uma corrente de aproximadamente 3mA, quando está desacionado. Com a aproximação do alvo metálico que absorve energia do campo eletromagnético o consumo de corrente se reduz para aproximadamente 1mA.

3.4.3.4 Fonte de alimentação:

A fonte de alimentação para sensores em corrente contínua, é muito importante, pois dela depende a estabilidade de funcionamento e a vida útil do sensor. Uma boa fonte de alimentação deve possuir filtros que diminuem os efeitos dos ruídos elétricos (transitórios) gerados pelas cargas, que podem até danificar os sensores de proximidade e outros equipamentos eletrônicos, conectados a fonte. Desta forma, indicamos a utilização de fontes reguladas ou chaveadas, que apesar do custo inicial maior propiciam maior confiabilidade na instalação.

3.4.4. Configurações Elétricas em Corrente Alternada

Os sensores de corrente alternada foram, verdadeiramente, desenvolvidos para a substituição das chaves fim de curso. Possuem o estágio de saída composto por um tiristor próprio para chaveamento de corrente alternada, conectado exatamente como um contato mecânico.

Princípio de Funcionamento:

O sensor de corrente alternada a 2 fios possui no estágio de saída uma ponte retificadora em conjunto com um SCR, tornando o sensor apto a conduzir corrente não polarizada (alternada).

Quando o estágio de saída está desacionado, o tiristor permanece bloqueado e a carga desenergizada, sendo que uma pequena corrente de fuga flui através da carga, necessária para manter o sensor funcionando e insuficiente para causar queda de tensão significativa na carga. Quando o estágio de saída está acionado, o tiristor de saída passa a conduzir, energizando a carga, restando apenas uma pequena queda de tensão no sensor, que não interfere no funcionamento e permite manter o sensor alimentado.

Modelos de 3 e 4 Fios:

Estes modelos utilizam tecnologia mais antiga, sendo muito semelhantes aos sensores de corrente contínua, pois possuem dois fios para alimentação interna e um terceiro que é conectado a carga, podendo ser normalmente aberto, fechado ou reversível.

3.4.5. Cuidados na Instalação:

A seguir, serão relacionados os principais cuidados que o usuário deve observar durante a instalação e operação dos sensores eletrônicos de proximidade. A não observação destes itens pode provocar o mau funcionamento e até mesmo um dano permanente no sensor

Cabo de Conexão: Evitar que o cabo de conexão do sensor seja submetido a qualquer tipo de esforço mecânico.

Oscilação: Como os sensores são impregnados com resina, é possível utiliza-los em maquinas e equipamentos com movimentos, mas devemos fixar o cabo junto ao sensor, através de braçadeiras ou suporte com parafuso, permitindo que somente o meio do cabo oscile, evitando desta forma a quebra do cabo.

Suporte de Fixação: Evitar que o sensor sofra impactos com outras partes ou peças e não seja utilizado como apoio.

Partes Móveis: Durante a instalação observar atentamente a distância sensora do sensor e sua posição, evitando desta forma impactos com o acionador.

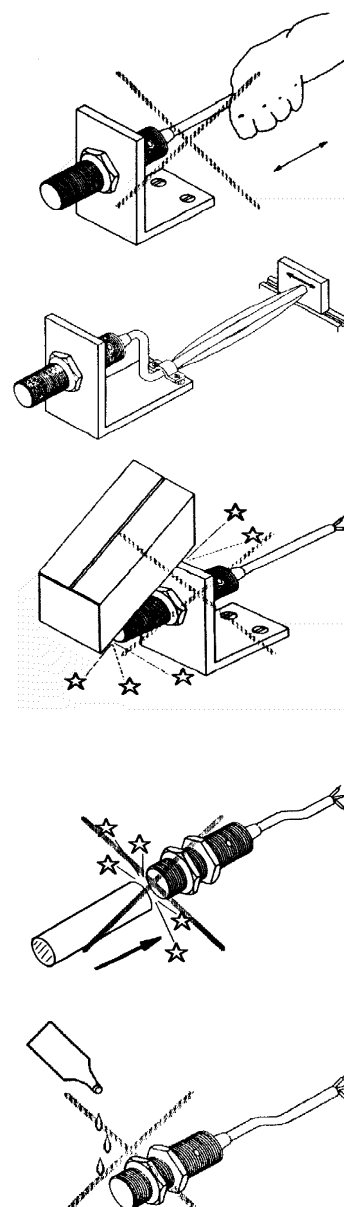
Porcas de Fixação: Evitar o aperto excessivo das porcas de fixação, não ultrapassando o torque máximo.

Produtos químicos: Nas instalações em ambientes agressivos especificar o sensor mais adequado para a aplicação.

Condições Ambientais: Evitar submeter o sensor a condições ambientais como temperatura de operação acima dos limites do sensor.

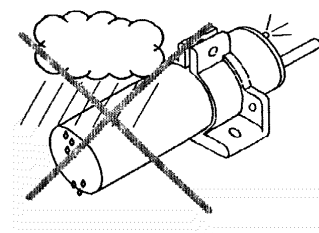
Sensores Capacitivos:

Os sensores capacitivos são influenciados pela densidade do meio onde o sensor esta



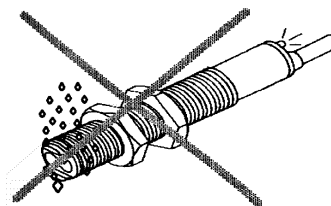
instalado, portanto, deve-se tomar cuidados adicionais com poeira, umidade e acúmulo de detritos próximo ao sensor.

Outro ponto importante do sensor capacitivo é o potenciômetro de ajuste de sensibilidade, que deve ser precisamente calibrado e lacrado pelo parafuso de proteção.

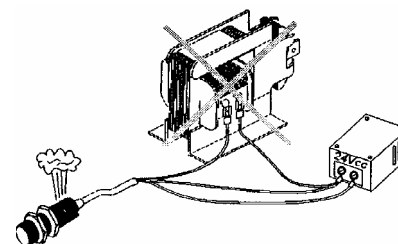


Sensores Fotoelétricos:

Os sensores fotoelétricos também estão sujeitos a poeira e umidade, portanto, deve-se promover periodicamente a limpeza dos espelhos e lentes. Apesar do grau de proteção dos sensores ópticos permitir até respingos d'água, deve-se evitar o acúmulo de líquidos junto as lentes, pois poderá provocar um acionamento falso, quando interromper o feixe de luz.

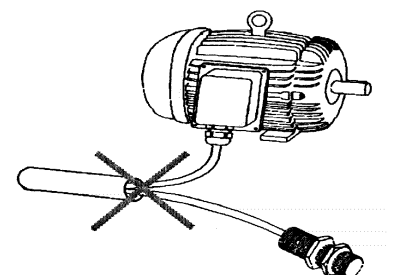


Sensores de Corrente Contínua: Utilizar o sensor para acionar altas cargas indutivas, poderá danificar permanentemente o estágio de saída dos sensores sem proteção contra curto circuito, além de gerar altos picos de tensão na fonte.

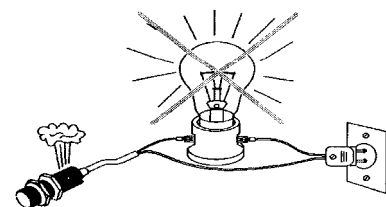


Fonte de Alimentação: Evite utilizar a mesma fonte de alimentação para sensores de proximidade e circuitos de acionamento com altas cargas indutivas principalmente se a fonte não for regulada.

Cablagem: Conforme as recomendações das normas técnicas, deve-se evitar que os cabos de sensores de proximidade, instrumentos de medição e controle em geral utilizem os mesmos eletrodutos que os circuitos de acionamento.



Sensores de Corrente Alternada: Não se devem utilizar lâmpadas incandescentes com sensores de corrente alternada, pois a resistência do filamento quando frio provoca alto consumo de corrente que pode danificar permanentemente o sensor. As cargas indutivas, tais como contactores, relês, solenóides, etc.; devem ser bem especificados pois tanto corrente de chaveamento como a corrente de surto podem danificar o sensor. Os cabos dos sensores corrente alternada devem também, preferencialmente utilizar canaletas e eletrodutos separados dos elementos de potência evitando a indução de correntes parasita

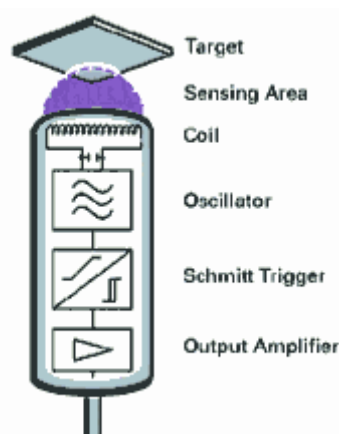


3.4.6. Sensores de Proximidade Indutivos

Os sensores de proximidade indutivos são dispositivos eletrônicos capazes de detectar a aproximação de peças metálicas, em substituição as tradicionais chaves fim de curso. A detecção ocorre sem que haja contato físico, aumentando a vida útil do sensor por não possuir peças móveis sujeitas a desgastes mecânicos.

Princípio de Funcionamento:

O princípio de funcionamento baseia-se na geração de um campo eletromagnético de alta frequência, que é desenvolvido por uma bobina ressonante instalada na face sensora. A bobina faz parte de um circuito oscilador que em condição normal (desacionada) gera um sinal senoidal. Quando um metal aproxima-se do campo, este por correntes de superfície (Foucault), absorve a energia do campo, diminuindo a amplitude do sinal gerado no oscilador. A variação de amplitude deste sinal é convertida em uma variação contínua que comparada com um valor padrão, aciona o estágio de saída.



Representação do Circuito Interno do Sensor Indutivo

Material do Acionador: A distância sensora operacional varia ainda com o tipo de metal, ou seja, especificada para o ferro ou aço e necessita ser multiplicada por um fator de redução.

MATERIAL	FATOR
Ferro ou aço	1,0
Cromo níquel	0,9
Aço inox	0,85
latão	0,5
Alumínio	0,4
Cobre	0,3

3.4.7. Sensores de Proximidade Capacitivos

Os sensores de proximidade capacitivos são equipamentos eletrônicos capazes de detectar a presença ou aproximação de materiais orgânicos, plásticos, pós, líquidos, madeiras, papéis, metais, etc.

Princípio de Funcionamento:

O princípio de funcionamento baseia-se na geração de um campo elétrico, desenvolvido por um oscilador controlado por capacitor. O capacitor é formado por duas placas metálicas, carregadas com cargas elétricas opostas, montadas na face sensora, de forma a projetar o campo elétrico para fora do sensor, formando desta forma um capacitor que possui como dielétrico o ar.

Quando um material aproxima-se da face sensora, ou seja do campo elétrico o dielétrico do meio se altera, alterando também o dielétrico do capacitor frontal do sensor. Como o oscilador do sensor é controlado pelo capacitor frontal, quando aproximamos um material a capacitância também se altera, provocando uma mudança no circuito oscilador. Esta variação é convertida em um sinal contínuo que comparado com um valor padrão passa a acionar o estágio de saída.

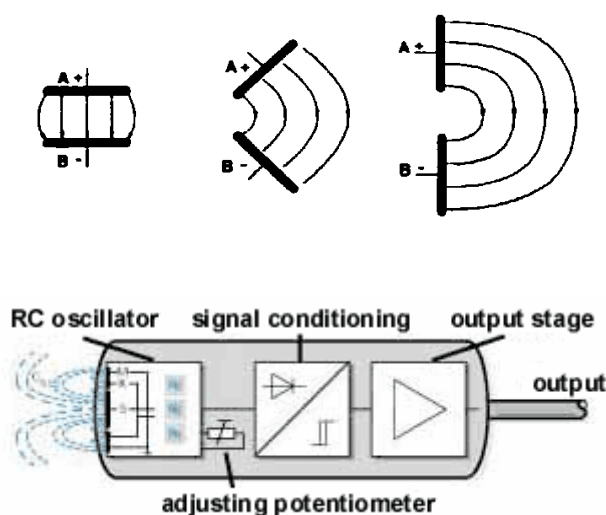
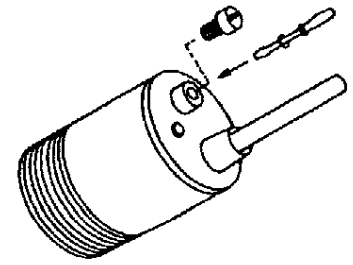


Diagrama do Sensor Capacitivo

Material a ser Detectado: A tabela abaixo indica o dielétrico dos principais materiais, para efeito de comparação; sendo indicado sempre um teste prático para determinação da distância sensora efetiva para o acionador utilizado.

MATERIAL	ϵ
Ar, vácuo	1
Óleo, papel, petróleo, poliuretano, parafina, silicone, teflon	2 a 3
Araldite, baquelite, quartzo, madeiras	3 a 4
Vidro, papel grosso, borracha, porcelana	4 a 5
Mármore, pedras, madeiras pesadas	6 a 8
Água, alcoólicos, soda cáustica	9 a 80

Ajuste de Sensibilidade: O ajuste de sensibilidade dos sensores capacitivos é protegido por um parafuso, que impede a penetração de líquidos e vapores no sensor. O ajuste de sensibilidade presta-se principalmente para diminuir a influência do acionamento lateral no sensor, diminuindo-se a distância sensora. Permite ainda que se detecte alguns materiais dentro de outros, como por exemplo: líquidos dentro de garrafas ou reservatórios com visores de vidro, pós dentro de embalagens, ou fluidos em canos ou mangueiras plásticas.



3.4.8. Sensores de Proximidade Fotoelétricos

Os sensores fotoelétricos, também conhecidos por sensores ópticos, manipulam a luz de forma a detectar a presença do acionador, que na maioria das aplicações é o próprio produto

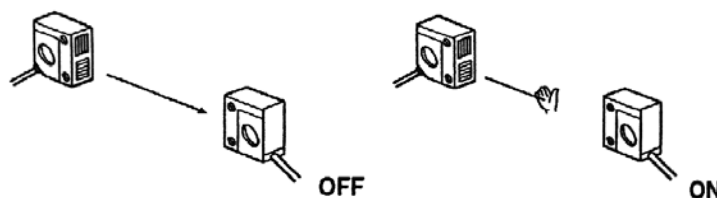
3.4.8.1 Princípio de Funcionamento:

Baseiam-se na transmissão e recepção de luz infravermelha (invisível ao ser humano), que pode ser refletida ou interrompida por um objeto a ser detectado. Os fotoelétricos são compostos por dois circuitos básicos: um responsável pela emissão do feixe de luz, denominado transmissor, e outro responsável pela recepção do feixe de luz, denominado receptor.

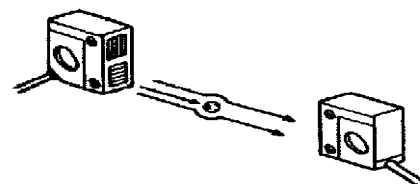
O transmissor envia o feixe de luz através de um LED, que emite flashes, com alta potência e curta duração, para evitar que o receptor confunda a luz emitida pelo transmissor com a iluminação ambiente. O receptor é composto por um fototransistor sensível a luz, que em conjunto com um filtro sintonizado na mesma frequência de pulsação dos flashes do transmissor, faz com que o receptor compreenda somente a luz vinda do transmissor.

3.4.8.2 Sistema por Barreira Direta:

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 ocorre quando o objeto a ser detectado interromper o feixe de luz.



Dimensões Mínimas do Objeto: Quando um objeto possui dimensões menores que as mínimas recomendadas, o feixe de luz contorna o objeto e atinge o receptor, que não acusa o acionamento. Nestes casos deve-se utilizar sensores com distância sensora menor e conseqüentemente permitem a detecção de objetos menores



3.4.8.3 Sistema por Difusão (Fotosensor):

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



Alvo Padrão: O alvo padrão no caso dos sensores por difusão é uma folha de papel fotográfico branco com índice de refletividade de 90%, com dimensões especificadas para cada modelo de sensor. Utilizado durante a industrialização para calibração da distância sensora nominal (S_n).

Distância Sensora Operacional (S_a): Para os modelos tipo fotossensor existem vários fatores que influenciam o valor da distância sensora operacional (S_a), explicados pelas leis de reflexão de luz da física.

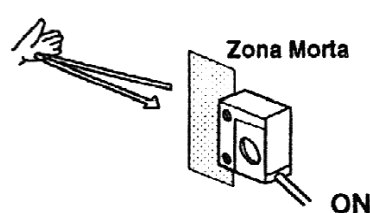
$$S_a = 0,81 \cdot S_n \cdot F \text{ (cor, material, rugosidade, outros)}$$

Abaixo apresentamos duas tabelas que exemplificam os fatores de redução em função da cor e do material do objeto a ser detectado.

Cor	F_c	Material	F_m
branco	0,95 a 1,00	metal polido	1,20 a 1,80
amarelo	0,90 a 0,95	metal usinado	0,95 a 1,00
verde	0,80 a 0,90	papeis	0,95 a 1,00
vermelho	0,70 a 0,80	madeira	0,70 a 0,80
azul claro	0,60 a 0,70	borracha	0,40 a 0,70
violeta	0,50 a 0,60	papelão	0,50 a 0,60
preto	0,20 a 0,50	pano	0,50 a 0,60

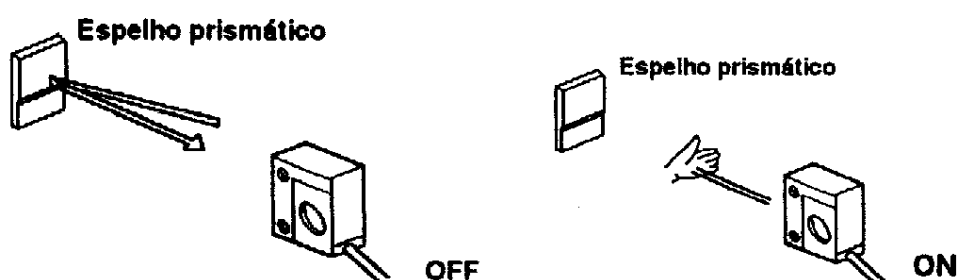
Ex. Papelão (0,5) , preto (0,5) gera um fator 0,25

Zona Morta: É a área próxima ao sensor, onde não é possível a detecção do objeto, pois nesta região não existe um ângulo de reflexão da luz que chegue ao receptor. A zona morta normalmente dada por: 10 a 20 % de S_n .

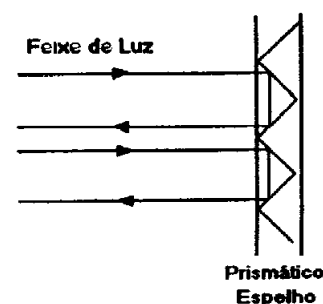


3.4.8.4 Sistema Retro-Refletivo:

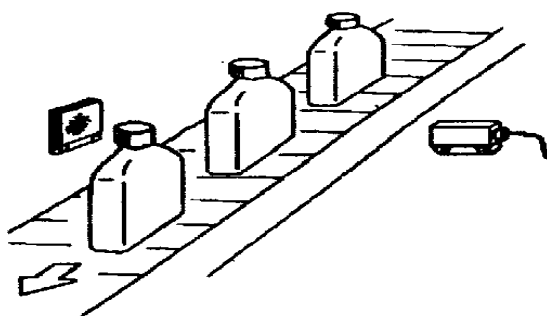
Este sistema apresenta o transmissor e o receptor em uma única unidade. O feixe de luz chega ao receptor somente após ser refletido por um espelho prismático, e o acionamento da saída ocorrerá quando o objeto a ser detectado interromper este feixe.



Espelho Prismático: O espelho permite que o feixe de luz refletido para o receptor seja paralelo ao feixe transmitido pelo receptor, devido as superfícies inclinadas a 45° o que não acontece quando a luz é refletida diretamente por um objeto, onde a luz se espalha em vários ângulos. A distância sensora para os modelos reflexivos é função do tamanho (área de reflexão) e o tipo de espelho prismático utilizado.

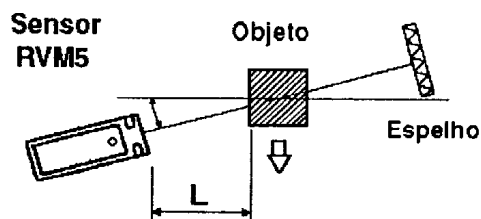


Detecção de Transparentes: A detecção de objetos transparentes, tais como: garrafas de vidro, vidros planos, etc.; podem ser detectados com a angulação do feixe em relação ao objeto, ou através de potenciômetros de ajuste de sensibilidade, sempre é aconselhável um teste pratico. A detecção de garrafas plásticas tipo PET, requerem sensores especiais para esta finalidade.

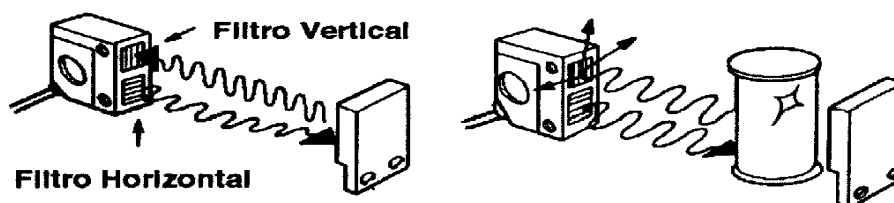


Detecção de Objetos Brilhantes: Quando o sistema reflexivo for utilizado na detecção de objetos brilhantes ou com superfícies polidas, tais como: engradados plásticos para vasilhames, etiquetas brilhantes, etc.; cuidados especiais devem ser tomados, pois o objeto neste caso pode refletir o feixe de luz. Atuando assim, como se fosse o espelho prismático, ocasionando a não interrupção do feixe, confundindo o receptor que não aciona a saída, ocasionando uma falha de detecção, para se prevenir aconselha-se utilizar um dos métodos:

Montagem Angular: Consiste em montar o sistema sensor espelho de forma que o feixe de luz forme um ângulo de 10° a 30° em relação ao eixo perpendicular ao objeto.



Filtro Polarizado: Existem sensores com filtros polarizados incorporados, que dispensam o procedimento anterior. Estes filtros mecânicos servem para orientar a luz emitida, permitindo apenas a passagem desta luz na recepção, que é diferente da luz refletida pelo objeto, que se espalha em todas as direções.



Imunidade a Iluminação Ambiente: Normalmente, os sensores ópticos possuem imunidade à iluminação ambiente, pois operam em frequências diferentes. Mas podem ser afetados por uma fonte muito intensa (exatamente como acontece com as rádios FM), como por exemplo, uma lâmpada incandescente de 60W a 15cm do sensor, ou um raio solar incidindo diretamente sobre as lentes.

Meio de Propagação: Entende-se como meio de propagação, o meio onde a luz do sensor devesse percorrer. A atmosfera em alguns casos pode estar poluída com partículas em suspensão, dificultando a passagem da luz. A tabela abaixo apresenta os fatores de atmosfera que devem ser acrescentados no cálculo da distância sensora operacional S_a .

Condições	F atm
Ar puro, podendo ter umidade sem condensação	1
Fumaça e fibras em suspensão, com alguma condensação	0,4 a 0,6
Fumaça pesada, muito pó em suspensão e alta condensação	0 a 0,1

3.4.9. Sensores de Proximidade Ultrasônicos

3.4.9.1 Princípio de Operação

A operação do sensor ultrasônico é baseada na emissão e recepção de ondas acústicas ultrasônicas entre um objeto e um receptor. Normalmente o meio de propagação é o ar. O tempo decorrido entre a emissão e a recepção da onda refletida é medida e processada.

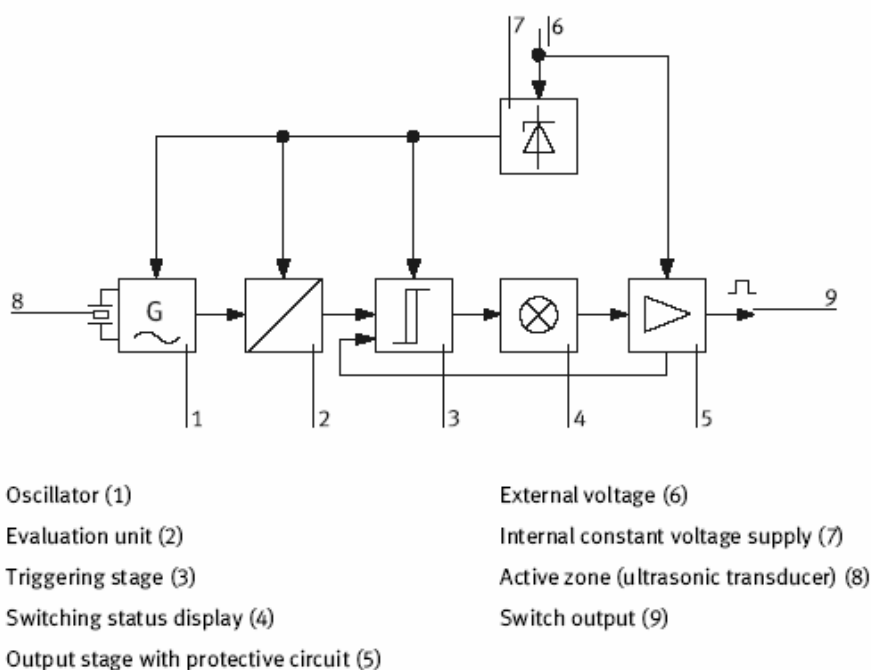
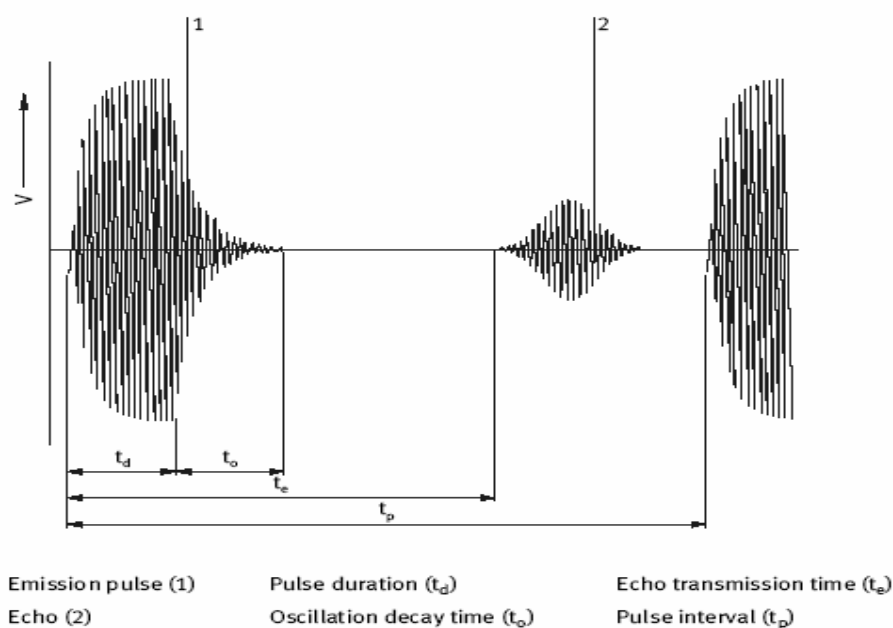


Diagrama de blocos do sensor de proximidade ultrasônico

O sensor de proximidade pode ser representado por três módulos principais, o transdutor ultrasônico, a unidade de processamento e o estágio de saída. O transmissor ultrasônico é acionado por um curto intervalo de tempo, produzindo ondas ultrasônicas. Este módulo é composto geralmente por um cristal piezoelétrico. O transmissor ultrasônico produz ondas ultrasônicas na faixa entre 30 – 300 kHz, portanto inaudíveis para o ser humano. Na maioria dos sensores o transmissor alterna a função de transmissor e receptor isto é como receptor ele operará como um sensível microfone. Filtros internos verificam se o sinal captado é proveniente de um eco do transmissor.



Pulsos sendo emitidos e reflexões captadas pelo sensor ultrassônico.

A repetição dos pulsos ultrassônicos depende do projeto do sensor e ficam compreendidas na faixa entre 1Hz e 100Hz.

A grande vantagem do sensor ultrassônico é a variedade de materiais que ele é capaz de detectar. A detecção independe da forma e da cor e ainda pode detectar tanto sólidos como líquidos ou pós. Atmosferas poluídas por fumaça, poeira ou umidade não impedem a detecção.

Podem-se encontrar sensores ultrassônicos onde o emissor e o receptor fazem parte do mesmo conjunto, entretanto também existem as barreiras ultrassônicas onde emissor e receptor estão separados.

Áreas de aplicação:

- Sistemas de armazenagem;
- Sistemas de transporte;
- Indústria Alimentícia;
- Processos que envolvem metais, vidro e plásticos;
- Monitorar a presença de materiais.

Os sensores de proximidade Ultrassônicos apresentam as seguintes vantagens:

- Larga faixa de operação (até alguns metros);
- Detecção independente da cor;
- Detecção de transparentes;
- Relativa insensibilidade a poeira;
- Aplicações em ambiente externo;

Os sensores de proximidade Ultrassônicos apresentam as seguintes desvantagens:

- Difícil detecção se a superfície do objeto a ser detectado apresentar irregularidades na reflexão da onda acústica;

- O sensor ultrasônico é relativamente lento apresentando uma frequência máxima de comutações entre 1 Hz e 125 Hz.
- Apresentam um custo mais elevado se comparado com os sensores fotoelétricos;

3.4.9.2 Características Técnicas

A tabela abaixo apresenta as informações técnicas para a maioria dos sensores ultrasônicos.

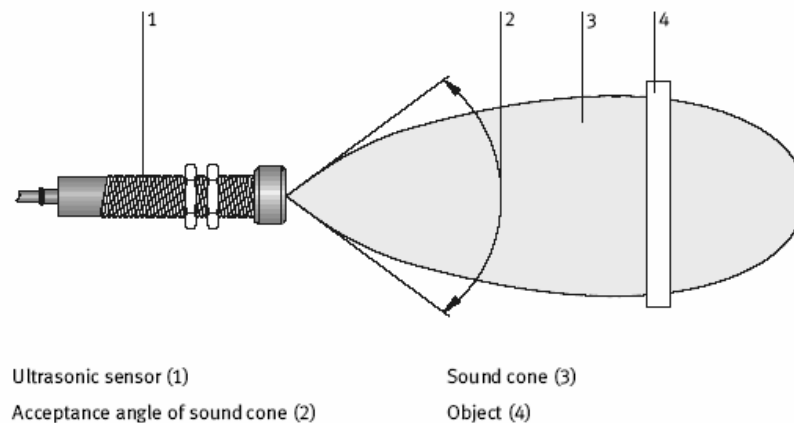
Parameter	Value
Object material	any, with the exception of sound-absorbing materials
Operating voltage	typ.24 V DC
Nominal switching distance	100 mm – 1 m, max. up to 10 m, usually adjustable
Switching current (transistor output)	100 – 400 mA
Sensitivity to dirt	moderate
Service life	long
Ultrasonic frequency	40 – 220 kHz
Switching frequency	1 – 125 Hz
Design	cylindrical, block-shaped
Protection (IEC 529, DIN 40050)	typ. IP65, max. up to IP67
Ambient operating temperature	0 – +70 °C, partly as low as -10 °C

Dados técnicos para os sensores ultrasônicos

Os sensores de proximidade Ultrasônico como regra são equipados com um LED para a indicação do seu estado (ON ou OFF) , alguns modelos apresentam ainda um ajuste de sensibilidade através de um potenciômetro. Outros modelos apresentam dois potenciômetros para um ajuste da zona morta e do alcance máximo formando uma janela de detecção.

3.4.9.3 Observações práticas:

- Tamanho mínimo do objeto
Dependendo do tamanho do objeto a ser detectado, não ocorrerá a reflexão das ondas acústicas. Portanto um teste prático deve ser realizado para a aplicação.



Área de detecção de um sensor ultrassônico

- Tipo do objeto

Preferencialmente o material deve ser sólido, líquido, pulverizado ou granulado. O sensor não é capaz de detectar materiais absorventes de som.

Com a utilização de barreiras ultrassônicas podem ser detectados: tecido grosso, algodão, espuma de borracha e lã de rocha.

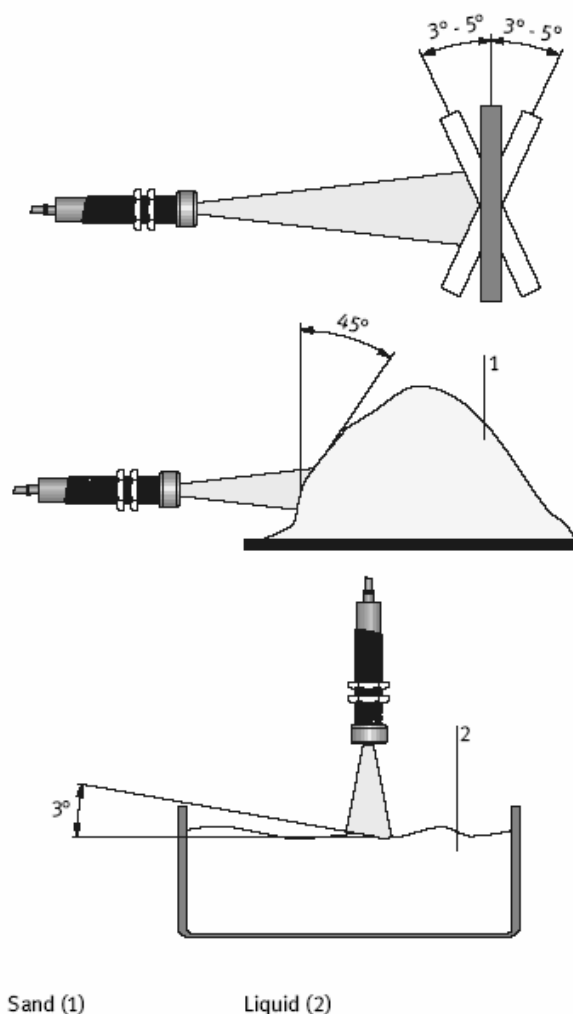
É possível detectar materiais transparentes, pretos ou reflexivos que em sensores fotoelétricos podem causar problemas de detecção.

- Distância mínima do objeto

O sensor de proximidade ultrassônico necessita de um tempo mínimo de processamento para detectar a onda refletida. Portanto existirá uma zona morta próxima ao sensor. Esta área deve ser respeitada para evitarem-se erros de detecção ou instabilidades.

- Posição do Objeto

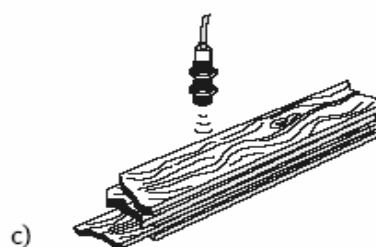
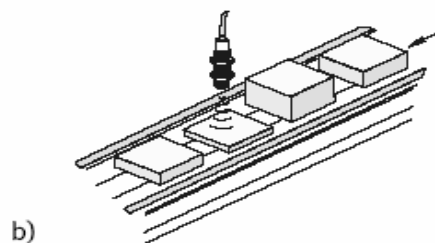
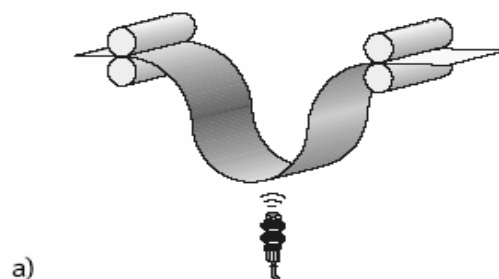
Semelhantemente aos sensores fotoelétricos que operam com a reflexão da luz, a onda ultrassônica deve refletir-se no objeto. O ângulo de reflexão passa a ser limitado a uma variação de poucos graus ($\pm 3^\circ - \pm 5^\circ$) em relação à posição perpendicular. Superfícies irregulares também podem causar problemas de detecção.



Efeitos da superfície do material para aplicações com sensores ultrasônicos

3.4.9.4 Exemplos de aplicações de sensores de proximidade ultrasônicos

- Monitoração do enchimento de grãos em um silo;
- Em sistemas de controle de nível de materiais;



- a) Monitoring slack between web feed rollers
b) Sorting according to different height
c) Monitoring of batch thickness

Exemplos de aplicações de sensores de proximidade ultrasônicos