



UNED SERRA

CURSO DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL  
INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

MÓDULO: SENSORES DE PROXIMIDADE



1ª EDIÇÃO  
Janeiro 2006

## SUMÁRIO

1) INTRODUÇÃO .....	3
2) CLASSE DE PROTEÇÃO DOS SENSORES.....	3
Grau de proteção contra sólidos.....	3
Grau de proteção contra líquidos .....	3
3) FATORES INICIAIS NA ESCOLHA DO SENSOR DE POSIÇÃO .....	4
4) CLASSIFICAÇÃO DOS SENSORES.....	4
4.1) Sensores Analógicos .....	4
4.2) Sensores Digitais.....	4
5) CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES .....	5
5.1) Faixa (Range).....	5
5.2) Resolução.....	5
5.3) Sensibilidade .....	5
5.4) Linearidade .....	6
5.5) Histerese.....	6
5.6) Exatidão ou Erro .....	6
5.7) Relação Sinal / Ruído.....	6
5.8) Resposta em Frequência .....	6
6) SENSORES MAGNÉTICOS, INDUTIVOS E CAPACITIVOS.....	6
6.1) Chaves Fim-de-Curso .....	6
6.2) Sensores Magnéticos Reed .....	7
6.3) Sensores Indutivos .....	8
6.4) Sensores Capacitivos .....	12
6.5) Tipo de Ligação dos Sensores .....	16
7) SENSORES ÓPTICOS.....	19
7.1) INTRODUÇÃO.....	19
7.2) CONCEITOS BÁSICOS.....	19
7.3) MODOS DE DETECÇÃO FOTOELÉTRICOS .....	21

## 1) INTRODUÇÃO

O uso de sensores e chaves para detecção de posição é muito comum na automação de máquinas e processos. Suas aplicações costumam ser a contagem de peças, verificação de posicionamento de uma peça para liberação de uma próxima fase do processo, seleção entre peças diferentes e determinação de dimensional de um produto, entre outras. Apesar de parecer um procedimento simples, muitas vezes um projeto de automação pode sucumbir devido à escolha errônea de um sensor.

## 2) CLASSE DE PROTEÇÃO DOS SENSORES

<b>Tabela de Proteção IP (de acordo com a IEC 529)</b>			
<b>Grau de proteção contra sólidos</b>		<b>Grau de proteção contra líquidos</b>	
0	Sem proteção	0	Sem proteção
1	Proteção contra objetos sólidos maiores que 50 mm	1	Proteção contra água na vertical ou respingos leves
2	Proteção contra objetos sólidos maiores que 12 mm	2	Proteção contra água ou respingos leves com ângulos de até 15 graus com a vertical
3	Proteção contra objetos sólidos maiores que 2,5 mm	3	Proteção contra água ou respingos leves com ângulos de até 60 graus com a vertical
4	Proteção contra objetos sólidos maiores que 1 mm	4	Proteção contra água ou respingos fortes em qualquer direção
5	Proteção contra pó, limitada penetração de pó permitida	5	Proteção contra jatos de água em qualquer direção
6	Total proteção contra penetração de pó	6	Proteção contra fortes jatos de água vindos em qualquer direção
		7	Proteção contra penetração de água durante submersão temporária
		8	Proteção contra penetração de água, podendo operar submerso a profundidade definida

### 3) FATORES INICIAIS NA ESCOLHA DO SENSOR DE POSIÇÃO

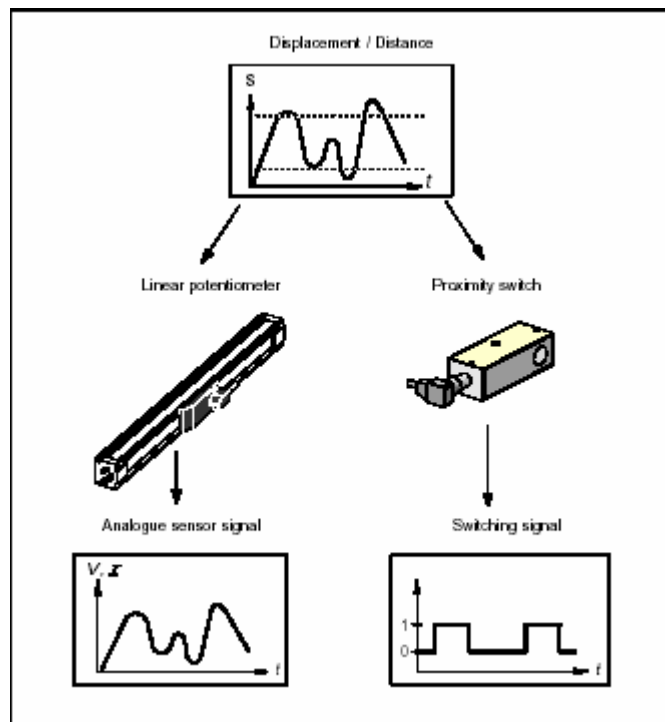
Existem diversas tecnologias de detecção de posição para uso em automação, e a decisão de utilização entre uma ou outra depende de diversos fatores, tais como:

- 3.1) **O objeto a ser detectado** – tipo de material, cor, dimensões, velocidade, número de operações por hora e etc;
- 3.2) **Local de instalação** – distância do sensor ao objeto, restrições quanto ao espaço para montagem do sensor, etc;
- 3.3) **Condições ambientais** – este é um ponto crucial na escolha do sensor correto. Deve-se observar se há presença de água no ambiente, poeira, óleo ou produtos químicos. Isto influenciará no grau de proteção adequado do sensor. Deve-se ficar atento também à temperatura ambiente, pois a maioria dos sensores com eletrônica embutida trabalha até 55°C;
- 3.4) **Tipo de detecção a ser feita** – deve-se definir se o sensor deve indicar somente a presença ou ausência do objeto, ou se deseja saber a posição do objeto de um modo analógico;
- 3.5) **Tensão de alimentação** – deve-se saber a tensão de alimentação disponível e que tipo de saída se deseja do sensor;
- 3.6) **Características dos sensores** – deve-se saber a precisão, a repetibilidade e tempo de resposta desejados;
- 3.7) **Custo do sensor e sua vida útil** – o custo do produto sempre é um fator decisivo na escolha. Deve-se, porém, avaliar se o custo baixo inicial não acarretará um alto custo de manutenção futuro.

### 4) CLASSIFICAÇÃO DOS SENSORES

Os sensores normalmente convertem um valor físico em sinal elétrico. Os sensores podem ser divididos de acordo com o tipo de sinal de saída em sensores analógicos e digitais.

- 4.1) **Sensores Analógicos** – os sensores analógicos geram um sinal elétrico de saída de acordo com a mudança contínua do valor da variável física. Esta relação não necessariamente é linear, mas sempre indica o valor da variável física. Sensores analógicos sempre oferecem mais informações que sensores digitais;
- 4.2) **Sensores Digitais** – os sensores digitais geram dois diferentes sinais de saída, ou seja, “on” ou “off”. A mudança de um estado para outro ocorre para um valor específico da variável física, e este valor pode normalmente ser ajustado.



**Figura 1 – Diferença entre Sensores Analógicos e Digitais**

Em resumo, os sensores medem uma grandeza física e entregam um sinal elétrico como saída. Se esse sinal puder tomar qualquer valor dentro de certos limites ao longo do tempo, esse sensor é chamado de analógico. Se esse sinal elétrico só puder tomar dois valores ao longo do tempo, sejam estes sinais de qualquer amplitude, o sensor é chamado de digital.

## 5) CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES

As principais características dos sensores, tanto analógicos quanto digitais são apresentadas a seguir.

- 5.1) **Faixa (Range)** – define-se como faixa ou range a todos os níveis de amplitude da grandeza física medida nos quais se supõe que o sensor pode operar dentro da precisão especificada. Assim, como exemplo, um sensor de pressão pode ser fabricado para operar de 60 mmHg até 300 mmHg. A amplitude dessa escala é definida como faixa.
- 5.2) **Resolução** – define-se como resolução o menor incremento da grandeza física medida que provoca uma mudança no sinal de saída do sensor. No caso de sensores digitais, a resolução vai estar dada pelo menor incremento da grandeza física medida que provoca uma mudança de 1 bit na leitura de saída do sensor digital.
- 5.3) **Sensibilidade** – a sensibilidade é a transferência do sensor, quer dizer, a relação entre a variação do sinal elétrico entregue na saída e a variação da grandeza física medida. Um sensor de pressão pode ter uma sensibilidade de 3 mV/mmHg, o qual significa que por cada mmHg que mude a pressão medida, o sinal elétrico entregue na saída mudará de 3 mV.

- 5.4) Linearidade** – dado um determinado sensor, se para variações iguais da grandeza física medida obtém-se variações iguais do sinal entregue, então define-se o sensor como linear, caso contrário, define-se como não – linear.
- 5.5) Histerese** – se o sensor entregar um determinado valor de saída para um estímulo *crescente* do sinal de entrada ao passar pelo valor  $X_1$ , e outro valor diferente na saída para um estímulo *decrecente* do sinal de entrada ao passar pelo mesmo valor  $X_1$ , então nesse caso se diz que há uma histerese.
- 5.6) Exatidão ou Erro** – dada uma determinada grandeza física a ser medida, a exatidão é a diferença absoluta entre o valor do sinal de saída entregue pelo sensor e o valor do sinal ideal que o sensor deveria fornecer para esse determinado valor de grandeza física.
- 5.7) 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 sinal de saída com informação de entrada nula (sem sinal de entrada). Esta relação pode ser expressa em termos percentuais ou em dB (decibéis), unidade que representa 10 vezes do logaritmo da relação Sinal / Ruído.

$$S/N [dB] = 10 \cdot \log S[w] / N[w]$$

**Onde:**

S/N[dB] – Relação Sinal / Ruído em decibéis;

S[w] – Potência do Sinal de Saída do Sensor em Watts;

N[w] – Potência do Ruído de Saída do Sensor para entrada nula em Watts.

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

## 6) SENSORES MAGNÉTICOS, INDUTIVOS E CAPACITIVOS

Existem diversos métodos de detecção de posição usados atualmente na indústria, desde os mais antigos (chaves fim-de-curso) aos mais modernos. Abordaremos os mais usados em Automação.

Conforme o tipo de tecnologia de detecção os sensores podem ser classificados em:

### 6.1) Chaves Fim-de-Curso

São os dispositivos mais antigos utilizados para detecção de posição. Atualmente há uma infinidade de modelos com diversos tamanhos e tipos de atuadores diferentes. Basicamente, a chave fim-de-curso tem um atuador que é acionado pelo objeto a ser detectado e que, por sua vez, atua um contato elétrico que irá enviar a informação. Logo

se vê que é necessário o contato físico entre o objeto a ser detectado e o atuador do sensor. Por isso, deve-se verificar se a força que o objeto poderá efetuar sobre o atuador é suficiente para acioná-lo, e esse será um dos fatores importantes na escolha da chave correta.

Uma das grandes vantagens das chaves fim-de-curso é o seu baixo custo. Por isso o seu uso é corriqueiro, mas deve-se considerar o número de operações por hora a que será submetida. Como a chave possui partes mecânicas e o contato elétrico que se desgastam, deve-se calcular a sua vida útil de modo a evitar trocas constantes.

Atualmente, as chaves fim-de-curso vêm sendo utilizadas em locais de baixo número de operações bem como em aplicações de segurança.



Figura 1 – Exemplo de chave fim-de-curso

## 6.2) Sensores Magnéticos Reed

Os sensores magnéticos *reed* são compostos de duas partes, uma *ampola reed* encapsulada em invólucro plástico e um ímã. Quando o ímã se aproxima da ampola, o contato desta se fecha. Este tipo de dispositivo tem dimensões reduzidas e pode substituir chaves fim-de-curso com a vantagem de não haver desgaste mecânico, pois não há contato entre o ímã e a *ampola reed*. Devem ser respeitados os limites elétricos de capacidade de comutação dela.

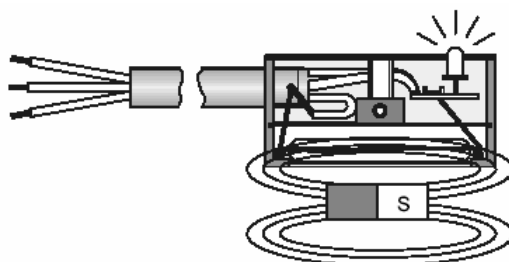


Figura 2 – Sensor de proximidade magnético reed

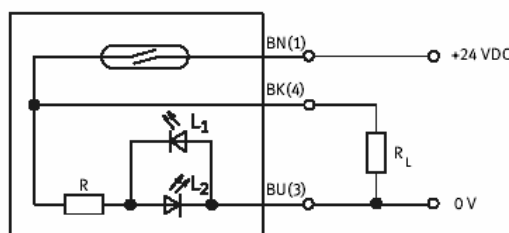


Figura 3 – Circuito do sensor de proximidade magnético reed

Colour	Abbreviation
black	BK
brown	BN
blue	BU
red	RD
grey	GY
white	WH

Tabela 1 – Código de cores para os fios dos sensores reed

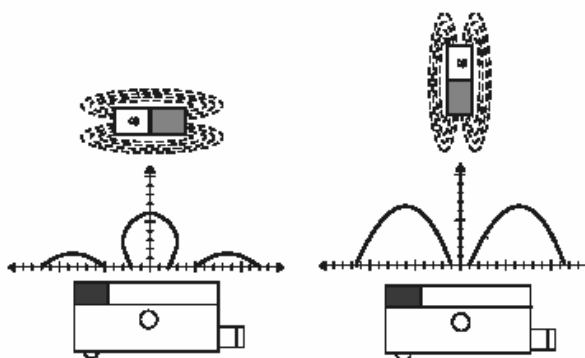


Figura 4 – Resposta característica de um sensor de proximidade magnético reed

### 6.3) Sensores Indutivos

Os sensores de proximidade indutivos são amplamente utilizados nos dias de hoje. Muitas das aplicações onde eram empregadas chaves fim-de-curso passaram a optar pelos sensores indutivos devido a sua detecção sem contato e alta vida útil.

#### 6.3.1) Princípio de Funcionamento

Os sensores de proximidade indutivos funcionam gerando um campo eletromagnético à sua frente. Eles consistem de uma bobina sobre um núcleo de ferrite, um oscilador, um circuito de disparo de sinais de comando e um circuito de saída. Quando um *objeto-alvo metálico* ferroso ou não-ferroso penetra no campo, a perda de energia ocasionada pelas correntes de fuga no objeto resulta numa amplitude de oscilação menor. O circuito de disparo então reconhece esta mudança específica de amplitude e, dependendo da magnitude da mudança, gera um sinal de comando para o circuito de saída (dispositivo de estado sólido).

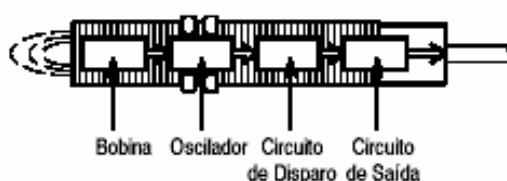




Figura 5 – Circuito interno do sensor de proximidade indutivo

A maioria dos sensores indutivos disponíveis no mercado é para a detecção de presença ou ausência, mas também se pode encontrar modelos que possuem uma saída analógica proporcional à distância do objeto à face sensora.

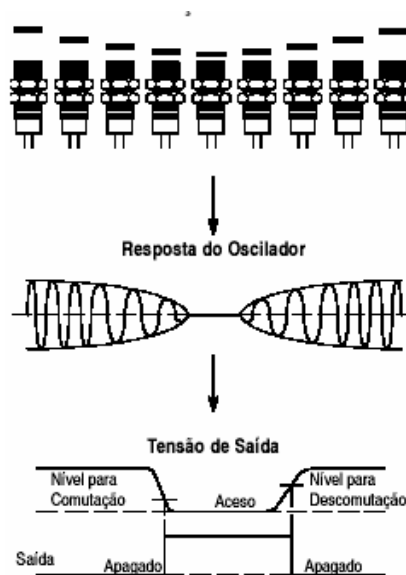


Figura 6 – Alvo metálico se aproximando e se afastando do sensor

### 6.3.2) Distância Sensora Nominal ( $S_n$ )

É a distância sensora teórica (máxima) que utiliza um alvo-padrão como acionador e não considera as variações causadas pela industrialização, temperatura e operação e tensão de alimentação. É o valor em que os sensores de proximidade são especificados e podem-se encontrar modelos com distância sensora nominal de até 30 mm.

### 6.3.3) Alvo Padrão (DIN 50010)

É importante observar que os catálogos dos fabricantes sempre informam a distância sensora nominal baseada em um objeto-alvo padrão de aço, chamado alvo padrão.

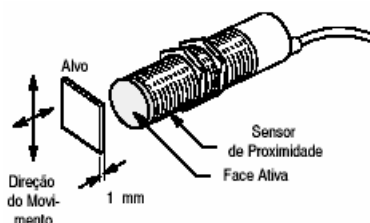


Figura 7 – Alvo padrão para sensores de proximidade indutivos

A face ativa de um detector de proximidade indutivo é a superfície frontal, por onde se irradia um campo eletromagnético de alta frequência. O alvo padrão é uma plaqueta quadrada de aço doce, com 1 mm de espessura, com comprimentos dos lados iguais ao diâmetro da face ativa ( $L=D$ , caso  $3xS_n < \text{Diâmetro}$ ) ou 3 vezes o alcance nominal ( $L=3xS_n$ , caso  $3xS_n > \text{Diâmetro}$ ).

### 6.3.4) Distância Sensora Real (Sr)

E o valor influenciado pela industrialização, especificado em temperatura ambiente (20° C) e tensão nominal, com desvio de 10%.

$$0,9 S_n \leq S_r \leq 1,1 S_n$$

### 6.3.5) Distância Sensora Efetiva (Su)

Valor influenciado pela temperatura de operação. Possui um desvio máximo de 10% sobre a distância sensora real.

$$0,81 S_n \leq S_u \leq 1,21 S_n$$

### 6.3.6) Distância Operacional (Sa)

E a distância em que seguramente se pode operar o sensor, considerando todas as variações de industrialização, temperatura e tensão de alimentação.

$$0 \leq S_a \leq 0,81 S_n$$

### 6.3.7) Fator de Correção ou Fator de Redução

Um fator de redução é usado para determinar o alcance quando se quer detectar outros materiais que não o aço doce padrão. A composição química do objeto-alvo tem grande efeito no alcance de detectores de proximidade indutivos. Caso o material de seu objeto-alvo seja de um outro material, deve-se multiplicar a distância sensora informada por um fator de redução (segundo a Tabela 2), para se determinar o alcance específico para aquele alvo.

Material do Objeto	Fator de Redução
Aço Doce	1,00
Aço Inoxidável	0,85
Latão	0,50
Alumínio	0,45
Cobre	0,40

Tabela 2 – Tabela de fatores de redução para outros materiais

$$\text{(Alcance Específico)} = \text{(Fator de Correção)} \times \text{(Alcance Nominal)}$$

#### Exemplo:

Um sensor indutivo possui distância de detecção nominal de 8 mm. Qual seria o alcance específico para um alvo de cobre com as mesmas dimensões que um alvo padrão?

#### Resolução:

$$A_{\text{Esp-cobre}} = A_{\text{Nom-sensor}} \times \text{Fator}_{\text{cobre}} \Rightarrow A_{\text{Esp-cobre}} = 8 \text{ mm} \times 0,40 = 3,2 \text{ mm}$$

**Conclusão:** Se usarmos um alvo de cobre, ele somente será detectado a 3,2 mm de distância do sensor.

### 6.3.8) Relação entre Alvo e Alcance de Detecção

O tamanho e a forma do alvo também podem afetar o alcance. Os seguintes pontos devem ser usados como orientação geral quanto ao tamanho e à forma de um objeto:

- a) Alvos planos são preferíveis;
- b) Alvos arredondados podem diminuir o alcance;
- c) Materiais não-ferrosos normalmente diminuem o alcance (válido somente para as versões de sensores que detectam todos os metais);
- d) Alvos menores que a face ativa tipicamente reduzem o alcance;
- e) Alvos maiores que a face ativa podem aumentar o alcance;
- f) Películas, folhas e filmes metálicos podem aumentar o alcance.

### 6.3.9) Sensores Blindados versus Não-Blindados

Os sensores indutivos podem ser do tipo blindados e não blindados. A construção blindada inclui uma faixa metálica que envolve o conjunto núcleo de ferrite / bobina. Já os sensores não blindados não possuem essa faixa.

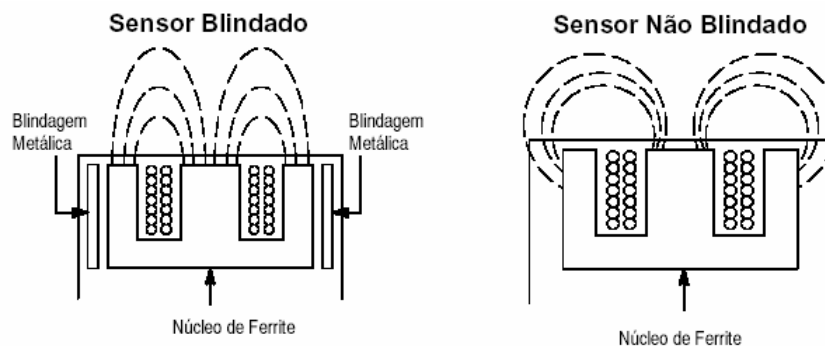


Figura 8 – Diferença entre sensores indutivos blindados e não-blindados

### 6.3.10) Histerese

Para um alvo que executa movimento cíclico, aproximando e afastando-se do sensor (especialmente para sensores digitais), a histerese pode tornar-se uma característica necessária, uma vez que irá evitar oscilações (comutação /descomutação) na saída do sensor quando o mesmo estiver sujeito a choques e vibrações ou quando o alvo estiver posicionado exatamente no ponto de alcance nominal do sensor.

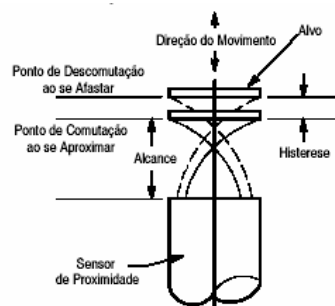


Figura 9 – Histerese no sensor

### 6.3.11) Diversidade de Modelos Indutivos

Atualmente há uma ampla gama de modelos com dimensões e formatos diferentes de sensores, o que permite a aplicação destes sensores em locais de dimensões reduzidas.

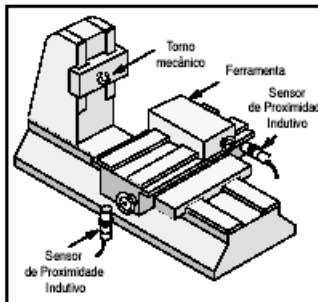


Figura 10 – Diversidade de modelos de sensores de proximidade indutivos

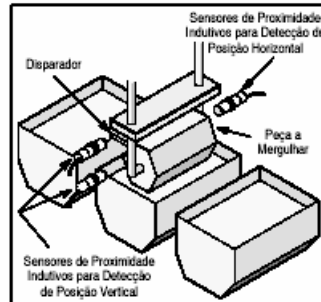
### 6.3.12) Aplicação dos Sensores de Proximidade Indutivos

A seguir, podemos ver algumas aplicações típicas para os sensores de proximidade indutivos, não descartando, porém o emprego desses para quaisquer outras.

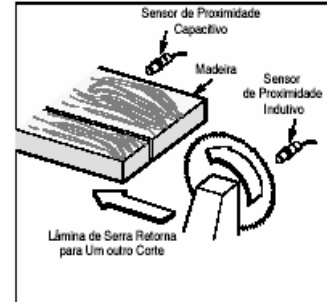
#### Ferramentas e Maquinário



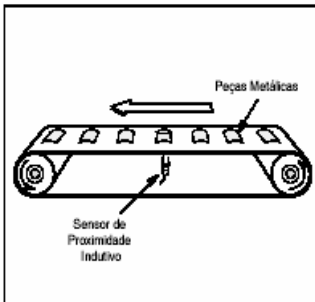
#### Linha de Revestimento Metálico



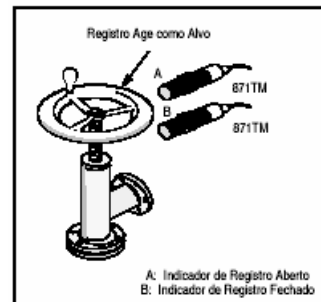
#### Indústria Madeireira



#### Esteira Transportadora



#### Indústria de Petróleo — Posição de Registro



#### Detecção de Posição de Trilho em Pátio de Ferrovia

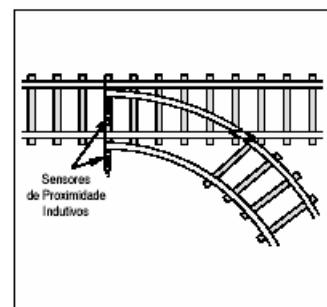


Figura 11 – Aplicações diversas dos sensores de proximidade indutivos

## 6.4) Sensores Capacitivos

Os sensores de proximidade capacitivos são dispositivos capazes de detectar a presença de objetos plásticos, líquidos, orgânicos e também os metálicos detectados pelos sensores indutivos.

### 6.4.1) Princípio de Funcionamento

Eles funcionam gerando um campo eletrostático criado por um oscilador controlado por capacitor, e detectando mudanças neste campo causadas por um alvo que se aproxima da face ativa.

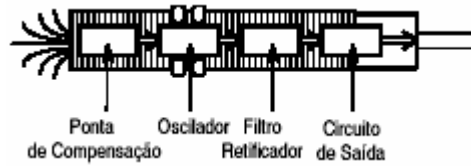


Figura 12 – Circuito interno do sensor de proximidade capacitivo

As partes internas do detector consistem em uma ponta capacitiva, um oscilador, um retificador de sinal, um circuito de filtragem e um circuito de saída. Na ausência de um alvo, o oscilador está inativo (não oscila). Quando o objeto a ser detectado se aproxima da face sensora ele aumenta a capacitância do circuito com a ponta de compensação até atingir um determinado valor, ativando o circuito oscilador e conseqüentemente o circuito de saída, fazendo com que o sensor comute seu estado, de “aberto” para “fechado” e vice-versa.

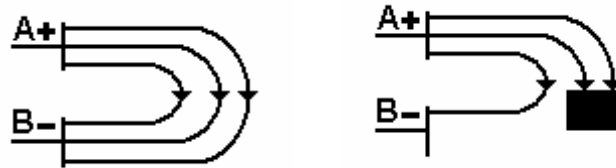


Figura 13 – Princípio de funcionamento do sensor de proximidade capacitivo

A capacitância do circuito com a ponta de compensação é determinada **pele tamanho do alvo, sua constante dielétrica e a distância até a ponta**. Quanto maior o tamanho e a constante dielétrica de um alvo, mais este aumenta a capacitância. Quanto menor for a distância entre a ponta de compensação e o alvo, também maior será a capacitância.

### 6.4.2) Constantes Dielétricas

Segue abaixo uma lista parcial de constantes dielétricas (K) para alguns materiais típicos encontrados na indústria.

Acetona	19,5	Óleo de Transformador	2,2
Açúcar	3,0	Óleo de Turpentina	2,2
Água	80	Papel	1,6-2,6
Álcool	25,8	Papel Saturado de Óleo	4,0
Amônia	15-25	Parafina	1,9-2,5
Anilina	6,9	Perspex	3,2-3,5
Ar	1,000264	Petróleo	2,0-2,2
Areia	3-5	Placa Prensada	2-5
Baquelite	3,6	Poliacetal	3,6-3,7
Benzeno	2,3	Poliamida	5,0
Borracha	2,5-3,5	Poliétileno	2,3
Calcário de Concha	1,2	Polipropileno	2,0-2,3
Celulósido	3,0	Poliestireno	3,0
Cereal	3-5	Porcelana	4,4-7
Cimento em Pó	4,0	Resina Acrílica	2,7-4,5
Cinza Queimada	1,5-1,7	Resina de Clorido Polivinil	2,8-3,1
Cloro Líquido	2,0	Resina de Estireno	2,3-3,4
Dióxido de Carbono	1,000985	Resina de Fenol	4-12
Ebonita	2,7-2,9	Resina de Melamina	4,7-10,2
Etanol	24	Resina de Poliéster	2,8-8,1
Etilenoglicol	38,7	Resina de Uréia	5-8
Farinha	1,5-1,7	Resina Epóxi	2,5-6
Freon R22 e 502 (líquido)	6,11	Sal	6,0
Gasolina	2,2	Shellac	2,5-4,7
Glicerina	47	Soluções Aquosas	50-80
Leite em Pó	3,5-4	Sulfa	3,4
Madeira Seca	2-7	Teflon	2,0
Madeira Úmida	10-30	Tetraclorido de Carbono	2,2
Mármore	8,0-8,5	Tolueno	2,3
Mica	5,7-6,7	Vaselina	2,2-2,9
Nitrobenzina	36	Verniz de Silicone	2,8-3,3
Nylon	4-5	Vidro	3,7-10
Óleo de Soja	2,9-3,5	Vidro de Quartzo	3,7

Tabela 3 – Constantes dielétricas de materiais industriais conhecidos

### 6.4.3) Sensores Blindados versus Não-Blindados

Os detectores de proximidade capacitivos também podem ser blindados e não blindados. Os detectores blindados são mais indicados para a detecção de materiais de constantes dielétricas baixas (difíceis de detectar), devido a seu campo eletrostático altamente concentrado. Entretanto, isto também os torna mais suscetíveis a comutação falsa devido à acumulação de sujeira ou umidade na face ativa do detector. Os detectores não – blindados são mais indicados para a detecção de materiais de constantes dielétricas altas (fáceis de detectar), pois seu campo eletrostático é menos concentrado do que o campo da versão blindada. Os detectores não – blindados também são mais adequados para aplicações de detecção do nível de líquido através de um suporte plástico, onde o sensor detecta o líquido no tanque através da parede do suporte.

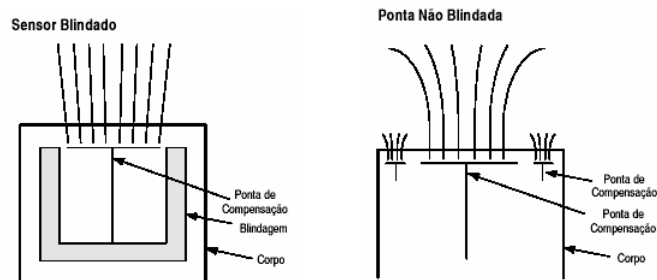


Figura 14 – Diferença entre sensores capacitivos blindados e não blindados

Os sensores capacitivos possuem um ajuste de sensibilidade (potenciômetro de ajuste) que permite controlar a distância de atuação bem como a massa do material que irá permitir o acionamento da saída. Isso facilita sua aplicação para detectar objetos dentro de embalagens, onde se ajusta o sensor para detectar embalagens cheias e não embalagens vazias. Os sensores capacitivos possuem uma pequena distância sensora, mas a possibilidade de detectar objetos não metálicos pode ser vantajosa frente aos indutivos.

#### 6.4.4) Fator de Correção ou Fator de Redução

Para um determinado tamanho do objeto-alvo, os fatores de correção para detectores de proximidade capacitivos são determinados segundo a constante dielétrica do material do alvo. Caso o material não seja o alvo padrão, deve-se multiplicar a distância sensora informada por um fator de redução (segundo a Tabela 4), para se determinar o alcance específico para aquele alvo. O fator de redução varia segundo o tipo de material do alvo.

<b>Material</b>	<b>Reduction factor</b>
All metals	1.0
Water	1.0
Glass	0.3 – 0.5
Plastic	0.3 – 0.6
Cardboard	0.5 – 0.5
Wood (dependent on humidity)	0.2 – 0.7
Oil	0.1 – 0.3

Tabela 4 – Tabela de fatores de redução para outros materiais

## 6.4.5) Aplicação dos Sensores de Proximidade Capacitivos

A seguir, podemos ver algumas aplicações típicas para os sensores de proximidade capacitivos não descartando quaisquer outras aplicações.

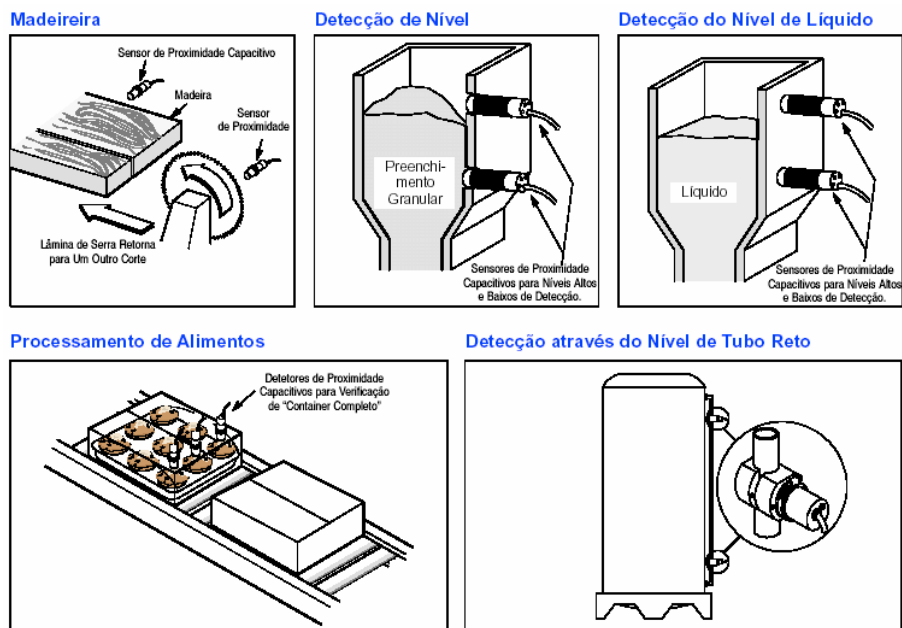


Figura 15 – Aplicações diversas dos sensores de proximidade capacitivos

## 6.5) Tipo de Ligação dos Sensores

### 6.5.1) Alimentação Alternada

Se a alimentação disponível for corrente alternada poderemos encontrar sensores a 2 fios ou a 3 fios. O primeiro tem a vantagem da facilidade de instalação, pois o sensor é ligado em série com a carga. Caso o sensor escolhido não tenha a opção de alimentação em corrente alternada, poderá ser usada uma fonte para sensores.

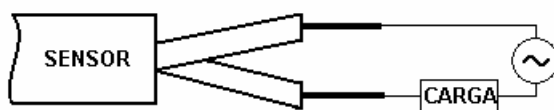


Figura 16 – Sensor de proximidade a dois fios

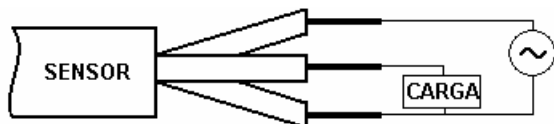


Figura 17 – Sensor de proximidade a três fios

### 6.5.2) Alimentação Contínua

Se a alimentação disponível for corrente contínua, usualmente 10 a 30 VCC, também teremos a opção de ligação a 2fios ou a 3 fios. No caso de ligação a 3 fios torna-se importante verificar o tipo de entrada da carga (PLC ou circuito eletrônico): se ele



possuir entrada positiva deverá ser usado um sensor **PNP**, mas se a entrada for negativa, o sensor deve ser **NPN**.

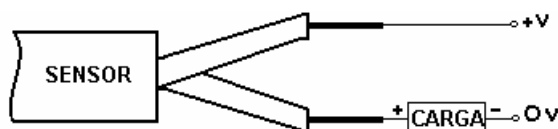


Figura 18 – Sensor de proximidade a dois fios

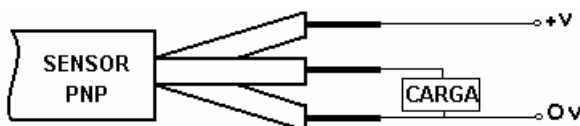


Figura 19 – Sensor de proximidade a três fios

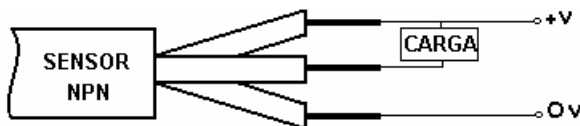


Figura 20 – Sensor de proximidade a três fios

### 6.5.3) Sensores Conectados em Série

Os detectores podem ser conectados em série com uma carga. Para o funcionamento adequado em conjunto, a tensão de carga deve ser menor ou igual à mínima tensão de alimentação menos as quedas de tensão ao longo dos detectores de proximidade conectados em série. Nesse caso, a carga é acionada para todos os sensores em “on”.



Figura 21 – Sensores conectados em série

#### 6.5.4) Sensores Conectados em Paralelo

Os detectores podem ser conectados em paralelo para energizar uma carga. A soma das máximas correntes de fuga dos sensores conectados em paralelo deve ser menor que a corrente máxima para o estado DESLIGADO do dispositivo de carga. O diodo acrescentado destina-se a manter a função individual de cada sensor. Nesse caso, a carga é acionada para qualquer dos sensores em “on”.



Figura 22 – Sensores conectados em paralelo

#### 6.5.5) Sensores com Saída Analógica

No caso de sensores com saída analógica, normalmente se encontram os seguintes tipos de sinal de saída: 0 a 10 V,  $\pm 10$  V, 0 a 5 V,  $\pm 5$  V, 0 a 20 mA e 4 a 20 mA. Como normalmente estes sinais são ligados a circuitos de conversão analógicos digitais de um PLC ou controlador, deve-se também tomar cuidado com a resolução da entrada destes circuitos, pois de nada adianta usar um sensor de alta resolução com um controlador que tenha entrada de baixa resolução.

## 7) SENSORES ÓPTICOS

### 7.1) INTRODUÇÃO

Os sensores fotoelétricos ou ópticos utilizam a luz infravermelha para detectar um objeto. O seu princípio de funcionamento baseia-se em dois circuitos eletrônicos: um emissor do feixe de luz e outro receptor do mesmo. O emissor envia um feixe de luz de forma pulsada através de um fotodiodo de modo a evitar que o receptor confunda esta luz com a luz ambiente. O receptor possui um fototransistor sensível a luz, e um circuito que reconhece somente a luz vinda do emissor.

### 7.2) CONCEITOS BÁSICOS

#### 7.2.1) Fontes de Luz

Um diodo emissor de luz (LED) é um componente eletrônico semiconductor em estado sólido que emite luz quando percorrido por corrente elétrica. Os LEDs são feitos para emitir luz com comprimentos de onda ou cores específicas, e oferecem diferentes características de detecção em função da cor. Os LEDs infravermelhos são os mais eficientes, pois geram mais luz e menos calor que qualquer LED de outra cor, sendo usado em detectores onde a máxima saída de luz é necessária para um alcance estendido.

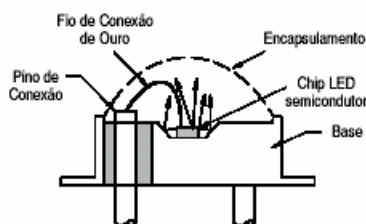


Figura 1 – Diodo emissor de luz (LED)

Em muitas aplicações, um feixe de luz visível é desejável para facilitar a instalação ou confirmar o funcionamento do detector. A luz vermelha visível é a mais eficiente para atender a este requisito. Os LEDs são componentes resistentes e confiáveis, o que os torna ideais para uso em detectores fotoelétricos. Eles operam em uma larga faixa de temperatura e são muito resistentes a danos decorrentes de vibração e choques mecânicos.

#### 7.2.2) Sensor de Luz

O sensor de luz (ou fototransistor) é o componente eletrônico usado para detectar a luz vinda (direta ou refletidamente) do emissor. Fotodiodos ou fototransistores são componentes robustos em estado sólido que causam uma mudança na corrente conduzida dependendo da quantidade de luz detectada. Para melhorar a eficiência de detecção o LED e o fotosensor são freqüentemente casados espectralmente. O fotosensor e os circuitos associados são chamados de receptor.

#### 7.2.3) Lentes

Os LEDs emitem luz sobre uma grande área e os fotosensores percebem esta luz também em uma grande área. Lentes são usadas em frente ao emissor de luz LED e ao fotosensor para estreitar esta área. À medida que a área é estreitada, o alcance do LED ou do fotosensor aumenta, aumentando o alcance de funcionamento para detectores fotoelétricos.

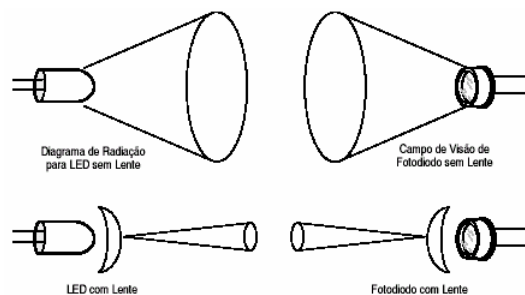


Figura 2 – Lentes no LED e fototransistor

Os detectores fotoelétricos otimizados para grande alcance emitem o feixe de luz bastante estreito, o que pode dificultar o alinhamento devido ao campo de visão também ser conseqüentemente estreito. Outros detectores fotoelétricos são projetados para a detecção de objetos sobre uma grande área, tendo um campo de visão mais largo e um alcance total mais curto.

#### 7.2.4) Saída

Uma vez que uma mudança suficiente no nível de luz é detectada, o detector fotoelétrico comuta um dispositivo de saída para prover um sinal para o controlador lógico a que o detector está conectado. Muitos tipos de saídas de sinal discreto (digital) ou variável (analogico) estão disponíveis, cada uma com vantagens e desvantagens particulares.

#### 7.2.5) Margem

Margem (margem de operação, ganho excedente) é um conceito importante que deve ser bem entendido quando se aplicam detectores fotoelétricos. A necessidade de reajustes e intervenções do usuário numa aplicação pode ser minimizada quando se obtém os melhores níveis de margem para aquela aplicação.

A margem expressa a quantidade de luz emitida pelo LED que é percebida pelo receptor. Por exemplo: Uma margem 0 ocorre quando nenhuma luz gerada pelo emissor é detectada pelo receptor. Uma margem 1 é obtida quando a luz detectada é exatamente suficiente para comutar o estado do dispositivo de saída de "ON" para "OFF" e vice-versa. Uma margem 20 é alcançada quando o receptor detecta 20 vezes mais luz que a quantidade necessária para comutar o estado do dispositivo de saída. Normalmente é expressa como uma relação (20:1) ou como um número inteiro seguido por "X" (20X).

#### 7.2.6) Modulação do LED

Para aumentar o alcance de um detector fotoelétrico, a quantidade de corrente que o LED conduz deve ser aumentada. Entretanto, os LEDs também geram calor e há uma quantidade de calor que pode ser gerado sem danificar ou destruir o LED. Assim sendo, nos detectores fotoelétricos, o emissor é comutado rapidamente, interrompendo-se sua corrente numa cadência acelerada chamada de modulação do emissor LED. A taxa ou frequência de modulação é muitas vezes maior que 5 KHz, muito mais rápido que o olho humano pode detectar.

#### Modulação



Figura 3 – Modulação do LED

### 7.2.7) Detecção Síncrona

O receptor é projetado para detectar a luz pulsante vindo de um emissor modulado. Para aumentar ainda mais a confiabilidade da detecção, o receptor e o emissor são sincronizados: o receptor espera pulsos de luz que são idênticos àqueles pulsos gerados pelo emissor. A detecção síncrona ajuda um detector fotoelétrico a ignorar pulsos de luz de outros emissores fotoelétricos por perto ou de outras fontes de luz pulsante, tais como lâmpadas fluorescentes.

## 7.3) MODOS DE DETECÇÃO FOTOELÉTRICOS

### 7.3.1) Tipo Barreira

Também conhecido por feixe transmitido, feixe direto ou sistema barragem. Nesse tipo de detecção o emissor e o receptor estão contidos em corpos separados. Estas duas unidades são posicionadas opostamente uma à outra, de modo que a luz do emissor atinja diretamente o receptor. O alvo deve interromper (bloquear) o feixe entre o emissor e receptor.

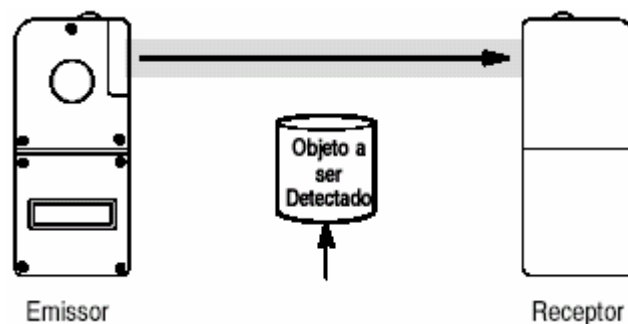


Figura 4 – Detecção por feixe transmitido

Detectores de feixe transmitido fornecem o maior alcance e o maior nível de margem de operação. A margem em aplicações com feixe transmitido com distância entre emissor e receptor de menos de 10 m pode exceder 10.000X. Por este motivo, o feixe transmitido é o melhor modo de detecção quando se operar em ambientes industriais muito empoeirados ou sujos.

A aplicação de feixe transmitido mais confiável tem uma alta margem quando o alvo está ausente e uma margem zero quando o alvo está presente. A detecção por feixe transmitido pode não ser adequada para a detecção de alvos transparentes ou translúcidos: a alta margem permite que o detector “veja através” destes alvos. Apesar de ser freqüentemente possível reduzir a sensibilidade do receptor, a detecção por feixe retro-refletido pode fornecer uma solução melhor para tais tipos de alvos.

#### 7.3.1.1) Vantagens do tipo Barreira

- Podem detectar pequenos objetos a longas distâncias (maior alcance);
- Alta margem em ambientes contaminados;
- A saída não é afetada por reflexões de superfície secundária;
- Os objetos podem ser opacos ou pouco translúcidos.

#### 7.3.1.2) Desvantagens do tipo Barreira

- Mais caro, devido a exigência de emissor e receptor em separado;
- Necessita de duas conexões elétricas em separado;
- O alinhamento do feixe de luz emissor-receptor torna-se muito importante;

- Não detecta objetos completamente transparentes.

### 7.3.2) Tipo Retro-Reflexivo

O feixe retro-refletido é o modo de detecção mais popular. Um detector com feixe retro-refletido contém tanto o emissor quanto o receptor em um mesmo corpo. O feixe de luz gerado pelo emissor é refletido por um objeto refletivo especial e detectado pelo receptor. O alvo é detectado quando ele bloqueia o feixe de luz.

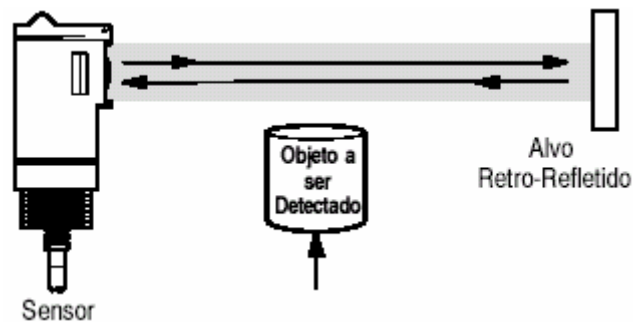


Figura 5 – Detecção por feixe retro-refletido

O objeto refletivo pode ser um espelho prismático ou fitas refletoras. As fitas refletoras não precisam ser alinhadas de forma perfeitamente perpendicular ao detector. Um desalinhamento de até  $15^\circ$  não irá reduzir a margem de detecção do sensor.

Os detectores por feixe retro-refletido são mais fáceis de instalar que os detectores de feixe transmitido. Somente a unidade emissora/receptora deve ser instalada e conectada. Entretanto, a margem quando o alvo está ausente é tipicamente 10 a 1.000 vezes menores que aquelas na detecção por feixe transmitido, tornando a detecção por feixe retro-refletido menos desejável em ambientes altamente contaminados.

São adequados para detectar objetos opacos, translúcidos e até transparentes. Deve ser tomado cuidado quando se aplicar detectores por feixe retro-refletido comuns em aplicações onde alvos brilhantes ou altamente refletivos devem ser detectados, pois as reflexões do próprio alvo podem ser detectadas como se fossem do refletor. Às vezes é possível orientar o detector e o refletor (ou fita refletora) de modo que o alvo brilhante reflita a luz para longe do receptor, por exemplo, montando o sensor a  $45^\circ$  da face refletiva do objeto.

#### 7.3.2.1) Vantagens do tipo Retro-Reflexivo

- Maior facilidade de instalação que o tipo barreira, pois possui corpo único e é de fácil alinhamento;
- É mais barato que o feixe transmitido porque a fiação é mais simples (corpo único);
- Possibilidade de detecção de objetos transparentes. Para objetos transparentes sempre há uma atenuação, permitindo ajustes no potenciômetro de sensibilidade do sensor de forma a detectar esse objeto;
- Os objetos podem ser opacos, translúcidos e até transparentes.

#### 7.3.2.2) Desvantagens do tipo Retro-Reflexivo

- Uma possível falha no emissor é avaliada como detecção de um objeto;
- O espelho prismático ou fitas refletoras podem se sujar provocando falhas no funcionamento;
- Possui alcance mais curto que o feixe transmitido;
- Possui menor margem de detecção que por feixe transmitido;
- Pode não detectar objetos brilhantes (usar a polarização).

### 7.3.2.3) Tipo Retro-Reflexivo Polarizado

Para a detecção de alvos brilhantes pode-se usar detectores por feixe retro-refletido com luz polarizada. Estes detectores contêm filtros polarizadores na frente do emissor e do receptor. Estes filtros têm direções de polarização perpendiculares entre si, ou seja, defasadas de 90°. O detector não é capaz de “ver” a luz refletida pela maior parte dos alvos, pois a luz polarizada refletida não pode passar através do filtro polarizador na frente do receptor, não sendo percebida pelo detector. Resumindo, o detector pode “ver” a reflexão de um refletor, mas não pode “ver” a luz refletida pela maior parte dos alvos brilhantes.

Os detectores por feixe retro-refletido com luz polarizada oferecem alcance 30 a 40% menor (e menor margem de detecção) que os refletores por feixe retro-refletido comuns e usam feixe de luz vermelha visível, o que facilita o alinhamento. Todos os refletores comuns despolarizam a luz e são adequados para a detecção com luz polarizada retro-refletida. Entretanto, a maior parte das fitas refletoras não despolariza a luz e são indicadas somente para uso com detectores por feixe retro-refletido comuns. Existem fitas refletoras especialmente construídas para retro-refletir a luz polarizada e devem ser usadas com os detectores por feixe retro-refletido com luz polarizada.

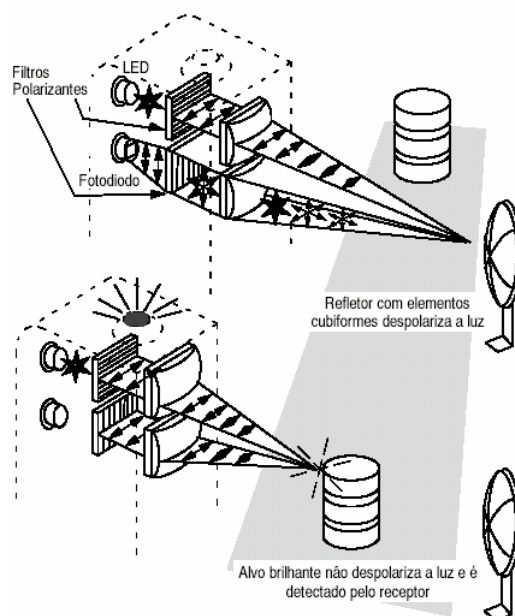
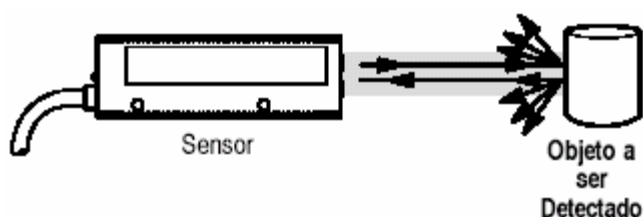


Figura 6 – Detecção com luz polarizada retro-refletida

### 7.3.3) Tipo Difuso-Refletido

O emissor e o receptor estão numa única unidade. A luz emitida é refletida no próprio objeto a ser detectado, sendo espalhada pela superfície do alvo em todos os ângulos possíveis. Apenas uma pequena parte é refletida de volta na direção do detector e percebida pelo receptor.



## Figura 7 – Detecção por feixe difuso

Neste tipo de sensor, deve-se tomar um cuidado especial com a cor do objeto. Como o receptor detecta a luz refletida pelo objeto, a cor e a rugosidade do mesmo influenciam no índice de reflexão da luz e logo o sensor irá detectar objetos de cores claras a uma distância maior que os objetos de cores escuras.

### **7.3.3.1) Vantagens do tipo Difuso-Refletido**

- Não é necessário um refletor (fita refletora) ou espelho;
- Dependendo do ajuste, diferentes objetos podem ser detectados;
- Os objetos podem ser translúcidos, transparentes ou opacos, o suficiente para que uma percentagem da luz seja refletida.

### **7.3.3.2) Desvantagens do tipo Difuso-Refletido**

- Para menores distâncias é requerida uma menor reflexão das superfícies dos materiais;
- Para maiores distâncias, maiores taxas de reflexão são requeridas.