



UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS - CCE
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ELTT 314 – INSTRUMENTAÇÃO ELETRÔNICA

INSTRUMENTAÇÃO ÓPTICA

Jhonathan pereira - 83065

Ian Andrade Mendes - 82871

Viçosa – Minas Gerais
Fevereiro de 2021

Introdução

Os sensores ópticos se baseiam em fenômenos ópticos. É interessante nos recordarmos de algumas propriedades óticas dos materiais. O objetivo aqui não é de tratar em detalhes vários dos aspectos envolvidos no estudo de óptica mas apenas pincelar alguns conceitos úteis e necessários.

Os materiais em qualquer estado possuem propriedades óticas e estas variam em função de outras grandezas, podendo portanto, potencialmente serem sensores óticos ou ser utilizados como sensores. Essas variações devem ser seletivas, ou seja, deve haver uma seletividade em relação ao fenômeno que se deseja observar e também deve-se apresentar valores mensuráveis na avaliação dessa propriedade óptica que estivermos analisando. Nos concentraremos aqui em materiais e dispositivos em que as propriedades óticas se comportam de tal maneira que são tradicionalmente utilizados como sensores, o nosso objetivo não é abarcar toda a área de sensores (e em particular os sensores ópticos) mas sim dar ideia de quais são as propriedades que estão envolvidas no uso dos mesmos e como é que as exploramos através de circuitos eletrônicos e circuitos digitais para obter medidas de grandezas de interesse.

Em primeiro lugar vamos falar um pouco sobre a física óptica e a luz, para assim tratarmos de alguns dos principais dispositivos que se baseiam nesses fenômenos e como se faz uso de suas propriedades em meio industriais.

Fundamentação teórica

Em 1900, o modelo de Maxwell apresentava a luz sendo interpretada como campos elétricos variáveis no tempo e perpendicularmente à eles, campos magnéticos também variáveis, constituindo um modelo bem completo à época.

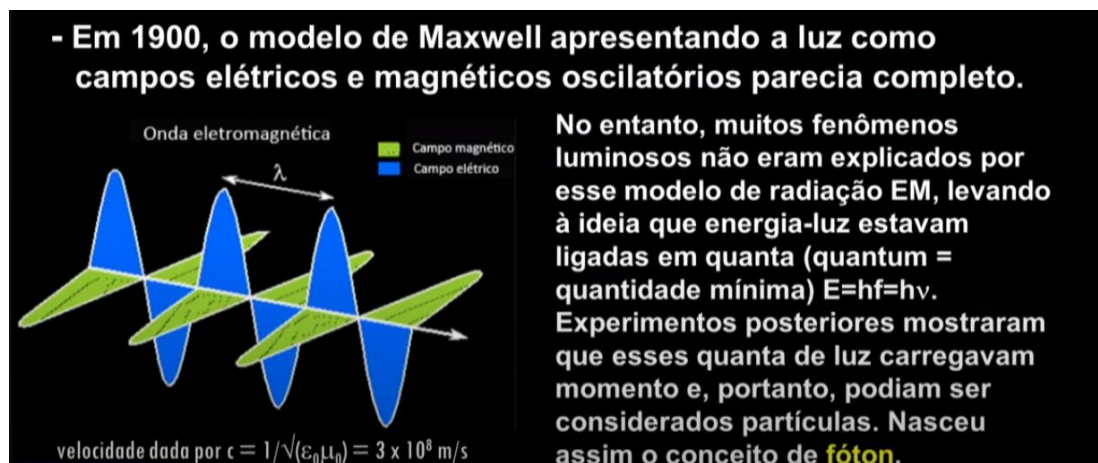


Figura 1

Maxwell estabeleceu que a velocidade da luz devia ser da ordem de 300 mil quilômetros por segundo. No entanto, no início do século XX alguns fenômenos luminosos passaram a não ser explicados por esse modelo de radiação eletromagnética, o que fez com que na época os físicos se debruçassem sobre essa área da física em particular. O prêmio Nobel de 1919, dado a Einstein, foi cedido pelos estudos em relação ao efeito fotoelétrico que traz a ideia de que energia e luz estavam ligadas em *quanta* (em pacotes de energia mínima). Sendo a energia dada pela expressão:

$$E = hf = h\nu$$

Ou seja, a energia é igual a à constante de Planck vezes a frequência do feixe luminoso. Experimentos posteriores mostraram que esses *quanta* de luz carregam um momento e portanto, podiam ser considerados partículas. O que deu origem ao famoso conceito da dualidade onda-partícula para a luz. Nasceu assim o conceito de fóton, quando falamos hoje em luz ou em sensores de luz normalmente fazemos referência aos fótons. Também nos referenciamos ao comprimento de onda dessa luz, aparece assim o conceito de espectro luminoso. Que é uma faixa ampla de comprimentos de onda onde temos os raios gama, raio x, radiação ultravioleta, micro ondas, ondas de rádio e os comprimentos de onda dentro da luz visível que são de particular interesse para o estudos de instrumentação eletrônica. Nós podemos estabelecer relações entre o comprimento de onda e frequência da luz, e relações entre o comprimento de onda e energia do feixe luminoso. Como exemplo, perceba a Figura 2, note os comprimentos de onda que se atribui ao violeta, ao azul, ao verde, ao amarelo, ao laranja, ao vermelho e à frequência de referência para estes comprimentos de onda.

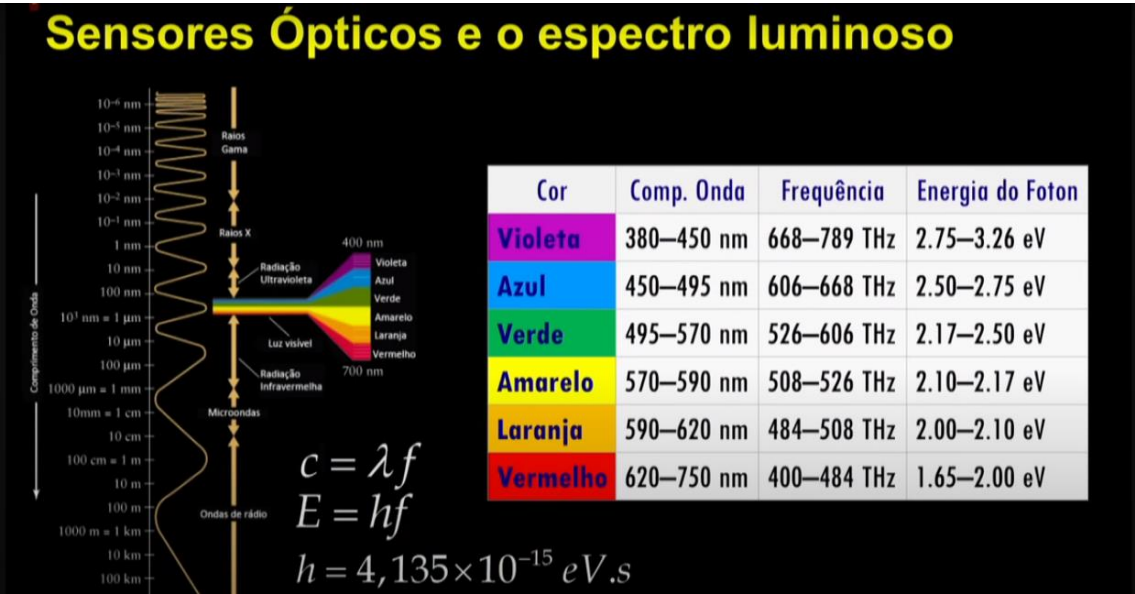


Figura 2

Perceba que essas frequências são da ordem de *Tera-hertz*. Se pensarmos em termos de transmissão de informação, fica claro que estamos trabalhando em frequências muito superiores, por exemplo, às frequências que os microprocessadores utilizam e que são da ordem de *Giga-hertz*, em outras palavras, nós temos a capacidade de transmissão de informação através de vias óticas como um caminho muito interessante pra suplantar o uso de elétrons ou de simplesmente condutores elétricos para transmitir informação. Associada a cada um desses comprimentos de onda, nós também temos uma certa energia do fóton que também é associada a um determinado comprimento de onda. Então, através desta energia nós podemos determinar qual é o comprimento de onda da partícula e consequentemente qual a cor.

Feita essa breve discussão, partimos agora para trazer alguns tipos de sensores ópticos para ilustrar esse importante conceito. Então, nós vamos apresentar os sensores ópticos que variam a **resistência elétrica em função da iluminação (fotocondutores)**, a **intensidade da emissão luminosa em função da corrente elétrica (foto-emissores)**, ou seja, emitem luz em função de passagem de corrente elétrica. Há também aqueles **variavam a corrente elétrica em função da intensidade luminosa coletada (foto coletores)** onde gera-se uma corrente elétrica a partir de uma emissão luminosa que é coletada. É de nosso interesse nesse trabalho apresentar também foto-disparadores.

Também vamos observar a questão da polarização da luz em determinado meio em função de propriedades térmicas, eletromagnéticas e mecânicas. Sendo esse conceito um pouco mais elaborado.

Em primeiro lugar, vamos falar dos **fotocondutores** ou **resistores dependentes da luz**. O que nós temos aqui é a variação da resistência elétrica em função da iluminação, esses são os chamados LDR (*Light Dependent Resistor*). Materiais como silício, germânio e sulfeto de cádmio geram elétrons livres quando há incidência de fótons, baixando a resistência elétrica do material em função da intensidade luminosa. Há uma dependência muito clara, conforme a Figura 3.

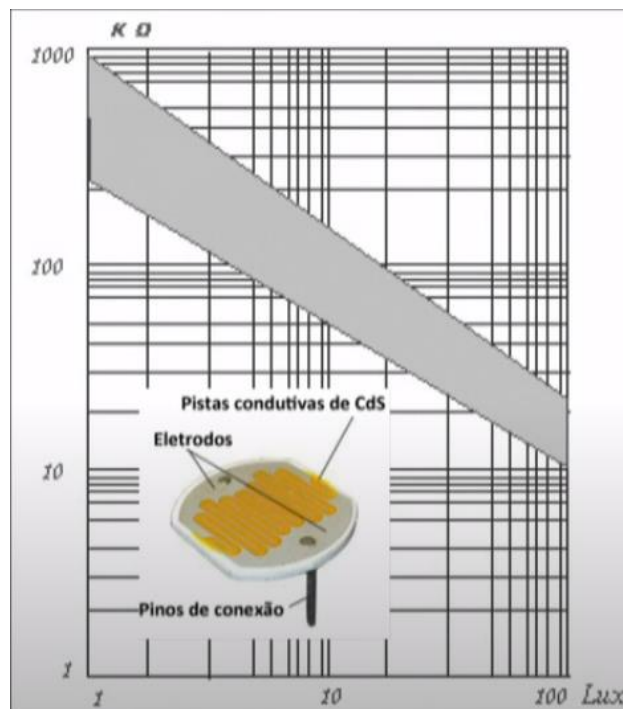


Figura 3

Postes de iluminação utilizam exatamente esse tipo de dispositivo para ligar e desligar as lâmpadas desses postes. É importante notar que quando nós falamos de comprimentos de onda, dependendo do tipo de material utilizado teremos uma resposta que é função do comprimento de onda. Por exemplo, o sulfeto de cádmio é muito utilizado porque ele apresenta uma boa variação da resistência elétrica dentro dos comprimentos de onda da luz visível, tornando-o muito interessante para aplicações em iluminação conforme mencionado. Também temos outros materiais que funcionam da mesma maneira porém para outros comprimentos de onda.

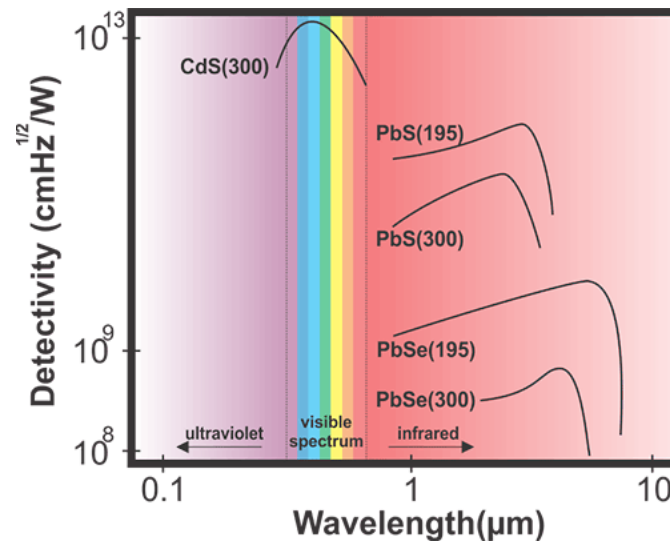


Figura 4

Devemos ainda destacar a curva de resposta dos LDRs que se aproxima bastante da curva de resposta do olho humano o que permite sua operação com fontes convencionais de luz, como a luz ambiente, lâmpadas incandescentes, fluorescentes, eletrônicas e de LEDs comuns de diversas cores. (newton c braga)

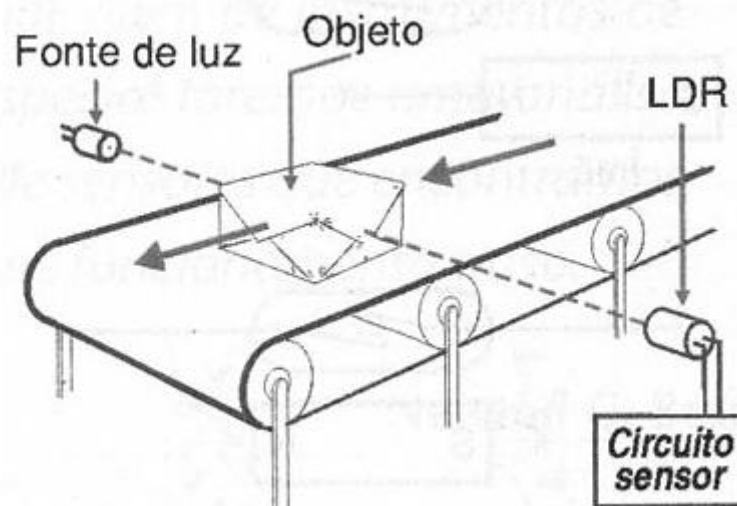


Figura 5-Aplicação típica num detector de passagem

Nas aplicações industriais, sensores com base em LDR's apresentam um encapsulamento que vai depender justamente de sua aplicação. Assim, os desenvolvedores de equipamentos que fazem uso desses sensores podem encontrar nos catálogos das grandes empresas de sensores uma infinidade de variações de formatos para esses componentes, já destinados à aplicações específicas.

Nós temos também os foto emissores sendo os mais conhecidos os LED's (*light emitting diode*). Os LED's também apresentam emissões em determinados comprimentos de onda, que obviamente estão associados a uma determinada cor, conforme a Figura 5.

Fotoemissores: Geram luz com a passagem de corrente elétrica



Diodos Emissores de Luz (LED) Light Emitting Diodes

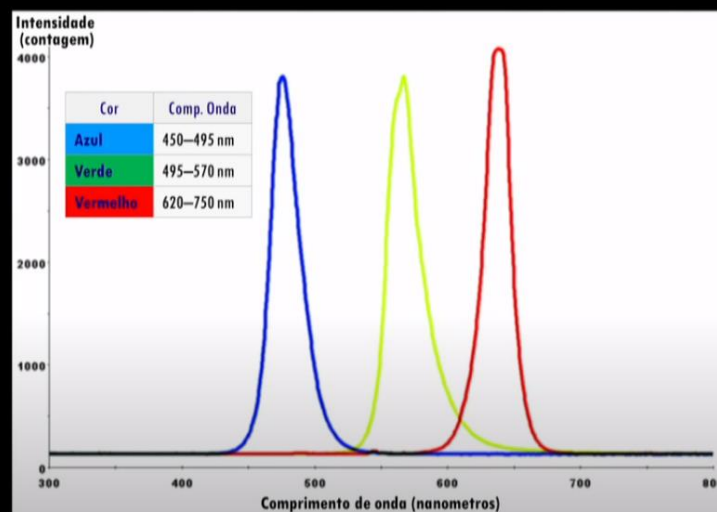
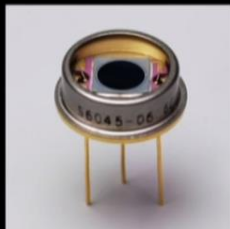


Figura 6

Note que nós temos aqui fontes de luz de comprimentos de onda razoavelmente bem definidos.

No sentido contrário, temos também os chamados fotodetectores que geram corrente elétrica com incidência de luz, ou seja, se incide luz neste elemento e ele vai gerar uma corrente elétrica. Hoje em dia um tipo de foto detector muito interessante é o diodo de avalanche fabricados em silício.

Fotodetectores: Geram corrente elétrica com incidência de luz



Silicon APD

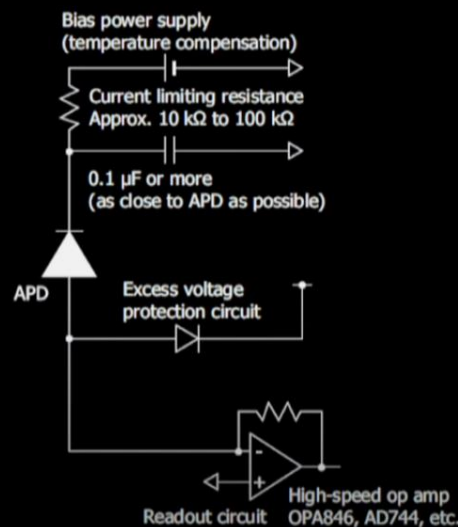
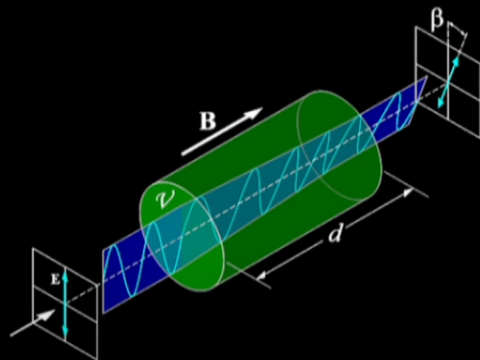


Figura 7

Nesse caso, nós polarizamos o diodo no sentido reverso. Note que aqui a tensão positiva está aplicada no cátodo do diodo, então está operando no sentido reverso e a corrente de avalanche é função do grau de iluminação desse diodo. Esses diodos funcionam com tensões relativamente baixas na ordem de 20 volts a 30 volts, o que faz com que eles sejam muito interessante para várias aplicações. Uma outra característica interessante é a utilização do efeito de polarização da luz.

Fotodetectores: Polarização da Luz



<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1945979>

Figura 8

Onde o campo elétrico da Figura 7, ao passar por um meio que está sujeito a um campo magnético, pode sofrer uma certa deflexão na sua polarização de tal maneira que vamos observar que ela muda a polarização, com esse fenômeno pode-se fazer medições de grandezas.

Fotodetectores: Polarização da Luz

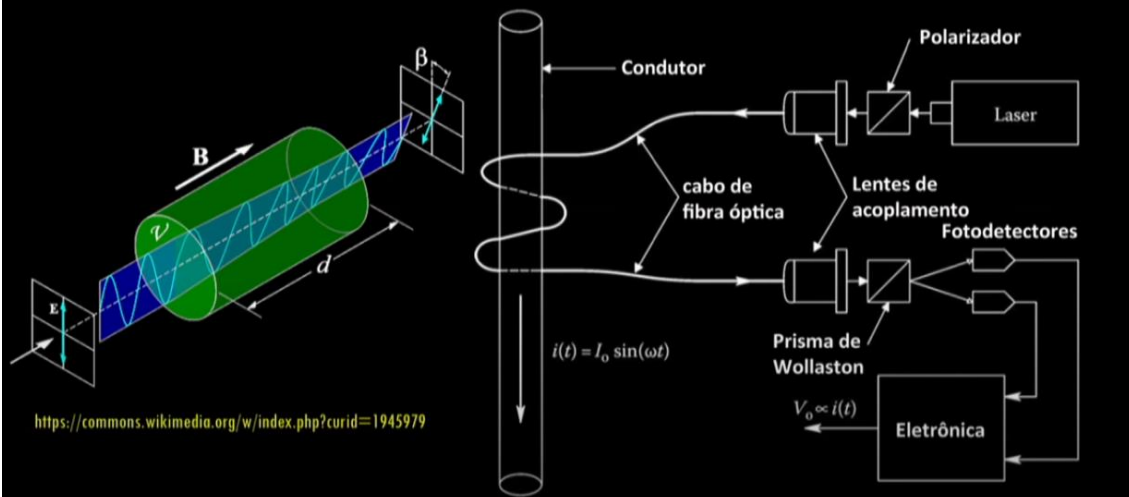


Figura 9

Por exemplo, aqui no caso eu temos um condutor elétrico, por esse condutor passa uma corrente senoidal. Colocando um cabo de fibra óptica pelo qual é transmitido um feixe luminoso oriundo de um laser com uma determinada polarização de tal maneira que a luz ela percorre a fibra, pela existência de uma corrente elétrica que por sua vez também gera um campo magnético vemos a polarização do feixe no interior da fibra ser alterada ao passar pelo condutor, de tal maneira que eu detectamos a polarização dessa luz. Fazendo o processo de foto detecção e amplificação eletrônica e temos na saída uma tensão que é proporcional ao campo magnético que por sua vez é proporcional à intensidade da corrente elétrica no condutor, e então por fibra

ótica. O que seria muito interessante para medições em redes elétricas de alta tensão já que os dispositivos eletrônicos normalmente não suportam níveis muito elevados de tensão.

Existem duas formas de se utilizar os fotodiodos em sensores, conforme Figura 9. No primeiro caso o foto diodo é usado no modo gerador, gerando uma pequena tensão, da ordem de 0,6 V quando iluminado. No segundo caso, o diodo é usado modo resistivo, tendo a corrente no sentido inverso alterada quando a junção é iluminada. Nesse modo de operação é usada uma fonte de polarização. Pela sua velocidade de resposta esses sensores são utilizados em aplicações que exigem operação com sinais rápidos como leitores de códigos de barra, sensores de máquinas muito rápidos.

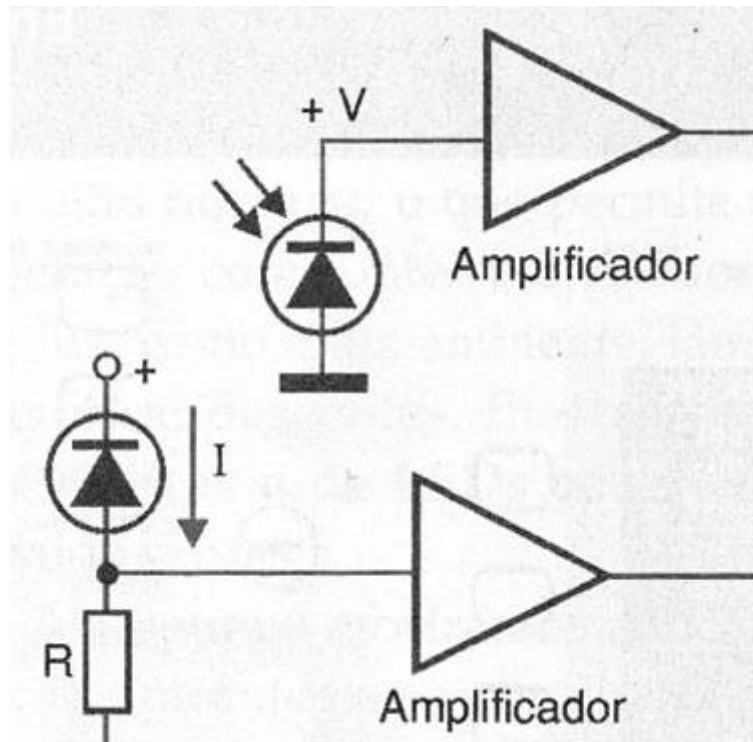


Figura 10

Existem ainda dispositivos semicondutores à base de silício que podem ser usados como sensores fotossensíveis. Na figura 11 apresentamos alguns desses sensores.

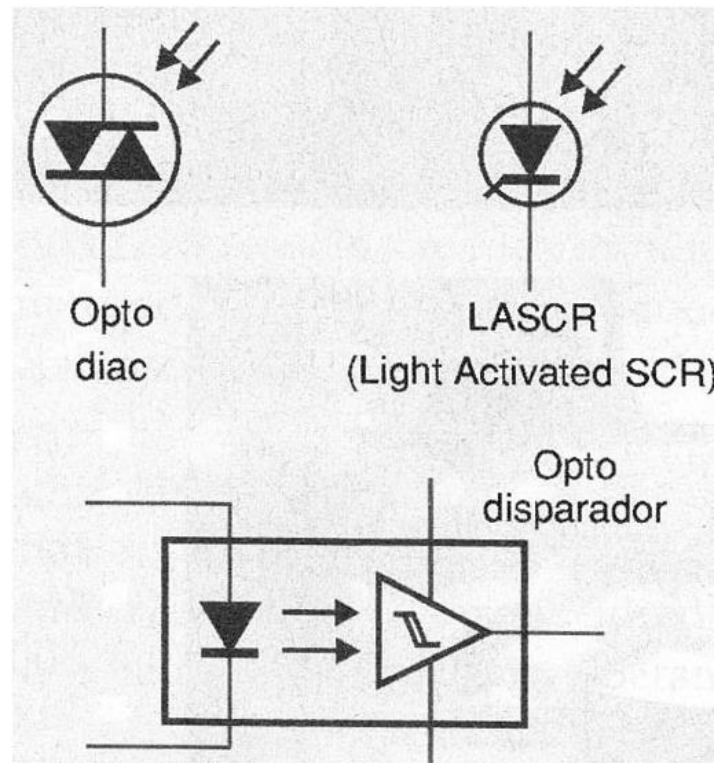


Figura 11-Foto disparadores

Podemos ter opto-diacs, opto-triacs e até opto-SCR's. Os foto-sensores podem ser usados em diversas configurações, conforme mostra a figura 12.

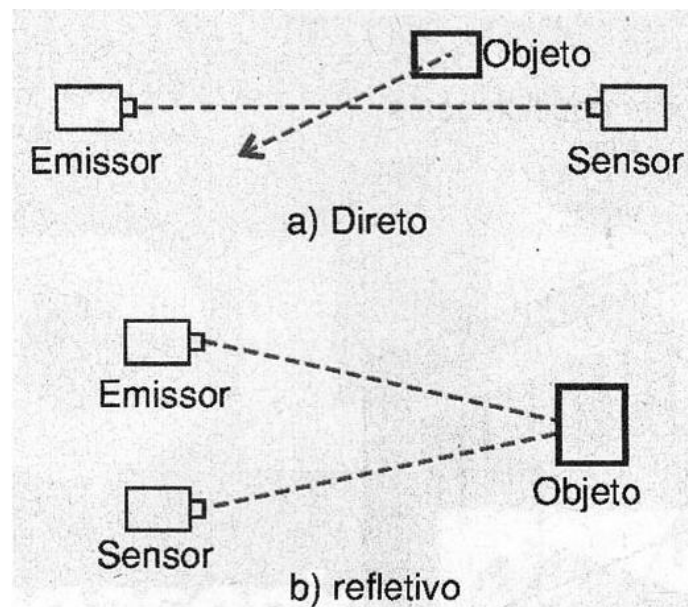


Figura 12

Classificação de sensores conforme a aplicação

Quando imaginamos esses sensores acrescentados a um sistema fechando a malha de controle da planta é interessante compreendermos que existem dois tipos: ativos e passivos.

Dentre o grupo dos ativos podemos caracterizar três grupos principais de acordo com o seu funcionamento:

- Sistema por Barreira (ópticas alinhadas);
- Sistema por Difusão;
- Sistema por Reflexão

Um sensor é dito ativo quando este possui um emissor por onde é emitida uma onda e por um receptor que detecta esta onda.

Os sensores são ditos passivos quando estes possuem apenas receptores, ou seja, eles não emitem ondas, apenas detectam a movimentação destas nas suas áreas de atuação. Ao se detectar o sinal, este geralmente é transformado numa variação de tensão ou de corrente e é interpretado por um circuito eletrônico. Seu uso é recomendável principalmente em ambientes fechados. Dentro grupo de sensores ativos, temos aqueles que funcionam no sistema por barreira, onde o elemento transmissor de irradiação é alinhado frontalmente a um receptor infravermelho, a uma distância pré-determinada para cada tipo de sensor. Se ocorrer alguma interrupção desta irradiação, ocorrerá um chaveamento eletrônico, pois não haverá sinal recebido pelo receptor. Um esquema de um sensor por barreira é mostrado na Figura 13.



Figura 13- Sensor Óptico por barreira

Os sistemas por difusão e por reflexão caracterizam-se pelos emissores e receptores estarem dispostos lado a lado em um mesmo conjunto óptico. Nos sistemas por difusão, os raios infravermelhos emitidos pelo emissor, incidem diretamente sobre um objeto, o qual retorna um feixe de luz em direção ao receptor. De acordo com o tempo de resposta, determina-se a distância na qual o objeto está disposto e então ocorre um chaveamento eletrônico correspondente. Um esquema é mostrado na Figura



Figura 14-Sensor Óptico por difusão

No sistema por reflexão, os raios infravermelhos são emitidos em direção a um espelho prismático. Neste caso, o chaveamento ocorrerá quando se retirar o espelho ou quando interromper-se a barreira dos raios infravermelhos entre o sensor e o espelho com um objeto ou corpo de qualquer natureza, fazendo com que o receptor não receba mais um sinal. Este esquema é mostrado na Figura 15.

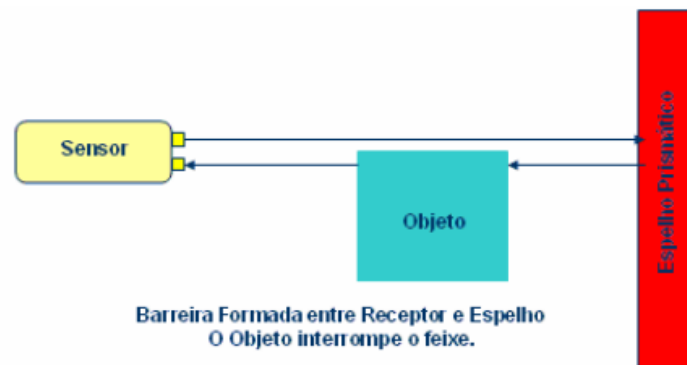


Figura 15-Sensor Óptico por reflexão

No Esquema a seguir perceba uma comparativo entre os diferentes tipos de sistemas com sensores ópticos implementados:

Difuso	Retro Reflexivo	Barreira
<p>Dispensa refletor</p> <p>+ Permite ajuste de detecção</p> <p>Objetos transparentes e opacos</p> <p>Maior alcance para objetos claros</p> <p>- Distâncias menores requerem menor reflexão</p> <p>- Distâncias maiores requerem maior reflexão</p>	<p>Fácil e instalação</p> <p>Corpo único e fácil alinhamento</p> <p>Permite ajuste de sensibilidade</p> <p>Objetos transparentes e opacos</p> <p>O espelho pode se sujar</p> <p>Menor alcance se comparado ao barreira</p> <p>Pode não detectar objetos brilhantes</p>	<p>Detecta pequenos objetos a longas distâncias</p> <p>Atua em ambientes sujos</p> <p>Maior confiabilidade</p> <p>Menor manutenção</p> <p>Mais caros</p> <p>2 conexões elétricas (Transmissor e Receptor)</p> <p>Alinhamento do feixe é fundamental</p> <p>Não detecta objetos transparentes</p>

Figura 16-Comparativo entre sistemas

Formato e corpo de sensores ópticos

Existem dois formatos principais, tipo cilíndrico e tipo bloco, ambos ilustrados na Figura 17. É necessário que se leve em consideração quais são as características elétricas quando vamos projetar o sensor, tanto para o tipo cilíndrico quanto o tipo bloco. Características como se o sensor é PNP ou NPN, contato normalmente aberto ou normalmente fechado, além da tensão de alimentação. E portanto em termos de implementação, além do tipo de sensor essas características devem ser levadas em conta. O mesmo é válido para o tipo de ligação, seja o tipo de cabo ou o conector elétrico (M8 ou M12).

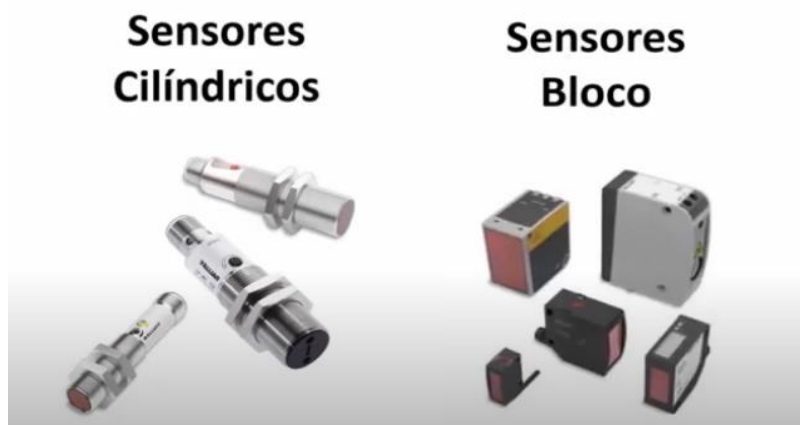


Figura 17-Formatos de sensores

