



**e-Tec Brasil**  
*Escola Técnica Aberta do Brasil*

# **Instrumentação Aplicada**

*Álysson Raniere Seidel*



**Santa Maria - RS**  
**2011**

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação a Distância

© Colégio Técnico Industrial de Santa Maria

Este Material Didático foi elaborado pelo Colégio Técnico Industrial de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – e-Tec Brasil.

**Comissão de Acompanhamento e Validação**  
**Colégio Técnico Industrial de Santa Maria/CTISM**

**Coordenador Institucional**  
Paulo Roberto Colusso/CTISM

**Professor-autor**  
Álysson Raniere Seidel/CTISM

**Coordenação Técnica**  
Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM

**Coordenação de Design**  
Erika Goellner/CTISM

**Revisão Pedagógica**  
Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM  
Francine Netto Martins Tadielo/CTISM  
Marcia Migliore Frego/CTISM  
Mônica Paliarini/CTISM

**Revisão Textual**  
Lourdes Maria Grotto de Moura/CTISM  
Vera da Silva Oliveira/CTISM

**Revisão Técnica**  
Eduardo Lehnhart Vargas/CTISM

**Diagramação e Ilustração**  
Gustavo Schwendler/CTISM  
Leandro Felipe Aguilar Freitas/CTISM  
Marcel Santos Jacques/CTISM  
Máuren Fernandes Massia/CTISM  
Rafael Cavalli Viapiana/CTISM  
Ricardo Antunes Machado/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Denise Barbosa dos Santos – CRB 10/1456  
Biblioteca Central – UFSM

**S458i Seidel, Álysson Raniere.**  
**Instrumentação aplicada / Álysson Raniere Seidel. –**  
**3. ed. – Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria :**  
**Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011.**  
**106 p.: il.**

**1. Engenharia elétrica. 2. Sensores. 3. Medidores. 4.**  
**Termopares. 5. Termômetros. 6. Circuitos integrados.**  
**I. Título.**

**CDU: 621.38**

# Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria entre o Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes, geograficamente ou economicamente, dos grandes centros.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação  
Janeiro de 2010

Nosso contato  
[etecbrasil@mec.gov.br](mailto:etecbrasil@mec.gov.br)





# Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



**Atenção:** indica pontos de maior relevância no texto.



**Saiba mais:** oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



**Glossário:** indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



**Mídias integradas:** sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



**Atividades de aprendizagem:** apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



# Sumário

<b>Palavra do professor-autor</b>	<b>9</b>
<b>Apresentação da disciplina</b>	<b>11</b>
<b>Projeto instrucional</b>	<b>13</b>
<b>Aula 1 – Tecnologia de sensores</b>	<b>15</b>
1.1 Importância da tecnologia de sensores	15
1.2 Sensores capacitivos e resistivos	15
1.3 Sensores magnéticos	15
1.4 Sensores de efeito <i>Hall</i>	17
1.5 Sensores piezoelétricos	18
1.6 <i>Strain gauges</i>	19
1.7 Sensores óticos	19
1.8 Sensores ultrassônicos	20
<b>Aula 2 – Seleção de sensores</b>	<b>23</b>
2.1 Importância da seleção dos sensores	23
2.2 Classificação dos sensores	23
2.3 Sensores de proximidade discretos	25
2.4 Sensores de proximidade indutivos	30
2.5 Sensores de proximidade capacitivos	31
2.6 Sensores de proximidade fotoelétricos	32
2.7 Sensores de proximidade magnéticos	39
2.8 Sensores de proximidade ultrassônicos	40
2.9 Cuidados na instalação e operação de sensores	44
2.10 Transformador linear diferencial variável (LVDT)	47
2.11 Transformador rotacional diferencial variável (RVDT)	48
2.12 <i>Synchros</i> e <i>resolvers</i>	48
2.13 Sensores potenciométricos	49
2.14 Encoders	50
<b>Aula 3 – Medida de temperatura</b>	<b>55</b>
3.1 Importância dos sensores de temperatura	55
3.2 Termômetros à dilatação de líquidos em recipiente de vidro	55

3.3	Termômetros à dilatação de líquido em recipiente metálico.....	56
3.4	Termômetros à pressão de gás.....	57
3.5	Termômetro bimetálico.....	57
3.6	Termopares.....	58
3.7	Montagem de termopares.....	63
3.8	Termorresistências (RTD).....	64
3.9	Termistores.....	64
3.10	Circuitos integrados (CI).....	65
3.11	Comparações entre sensores de temperatura.....	65
<b>Aula 4</b>	<b>– Medida de pressão.....</b>	<b>69</b>
4.1	Importância da medida de pressão.....	69
4.2	Dispositivos de medida de pressão.....	69
4.3	Coluna de líquido.....	69
4.4	Manômetro tubo de <i>Bourdon</i> .....	70
4.5	Sensores de pressão capacitivos.....	71
4.6	Sensores de pressão indutivos.....	72
4.7	Sensor de pressão piezorresistivo.....	73
4.8	Sensor de pressão piezoelétrico.....	73
4.9	Manômetros.....	74
<b>Aula 5</b>	<b>– Medidores de vazão.....</b>	<b>77</b>
5.1	Importância dos medidores de vazão.....	77
5.2	Medidores de quantidade.....	77
5.3	Medidores volumétricos.....	78
5.4	Medidores de vazão eletromagnético.....	81
5.5	Medidores de vazão tipo turbina.....	81
<b>Aula 6</b>	<b>– Medida de nível.....</b>	<b>85</b>
6.1	Importância das medidas de nível.....	85
6.2	Medida de nível.....	85
6.3	Medida de nível direta.....	86
6.4	Medida de nível indireta.....	87
<b>Referências</b> .....		<b>97</b>
<b>Currículo do professor-autor</b> .....		<b>98</b>

## Palavra do professor-autor

O avanço tecnológico nas últimas décadas, especialmente em sensores, permitiu um avanço considerável na automação industrial. O avanço da microeletrônica, da eletrônica de potência, da instrumentação, da automação associada a computadores e CLPs e ainda a grande variedade de sensores permitiu realizar tarefas antes não imaginadas pelo homem. Desse modo, tarefas de ficção científica como a exploração de Marte, com o uso de sondas espaciais e robôs como o “*Opportunity*”, de inspeção de tubulações como o PIGs da Petrobrás foram possíveis.

Os sensores estão presentes diariamente quando entramos num banco e são detectados metais; na rua, para ligar a iluminação pública através de fotocélulas; em lombadas eletrônicas; em carros com sensores para estacionamento e em diversas máquinas empregadas na indústria.

Assim, o objetivo da disciplina é oportunizar aos alunos de cursos técnicos da área industrial conhecimentos básicos sobre os princípios e fundamentos de sensores e suas aplicações.

Dessa forma, o conhecimento desta temática interligada com as demais disciplinas do curso e em conjunto com professores, tutores e alunos permitirá a construção de parte do conhecimento necessário para a formação do técnico em automação industrial e a base para os módulos subsequentes do curso.

Álysson Raniere Seidel



# Apresentação da disciplina

A revolução industrial no século XIX trouxe o desenvolvimento de novos instrumentos e técnicas de medidas elétricas para satisfazer a produção industrial. Assim, houve um rápido crescimento das tecnologias aplicadas ao ramo industrial. Isso ficou evidente no final do século XX, com o desenvolvimento da eletrônica e dos computadores, o que possibilitou que crescesse paralelamente a variedade de novos instrumentos e técnicas de medidas.

Esse crescimento exige cada vez mais especialização na precisão, no registro e processamento de variáveis a serem controladas que não poderiam ser realizadas de forma satisfatória pelo homem. Assim, o emprego de instrumentação em automação industrial foi fundamental para o êxito no desenvolvimento de sistemas automáticos, seja um sistema como o controle de temperatura de um ar-condicionado, ou um mais complexo, como o controle de um robô industrial ou espacial.

A Figura A ilustra um diagrama de blocos que consiste na estrutura básica de um sistema de controle. Nesse diagrama observa-se que existe uma dependência do sensor e como consequência também do sinal que o controlador recebe, o qual é a diferença entre o valor da variável controlada e o valor desejado que resulta no erro ou desvio. Assim, a partir do erro definido, a tarefa será realizada de forma adequada através do atuador que manterá o processo com suas variáveis nos limites definidos.

Observa-se, através da Figura A, que o controlador recebe o erro (desvio), para corrigir através do atuador, obtendo uma variável manipulada e controlada. No entanto, vale ressaltar que vários sistemas não apresentam realimentação, isto é, não trabalham em malha fechada, (os chamados sistemas em malha aberta). Mesmo assim, determinadas tarefas são perfeitamente executadas.



Leia o artigo sobre a evolução da automação relacionado ao desenvolvimento da indústria automobilística:  
<http://www.rep.org.br/pdf/23-6.pdf>



Assista a um vídeo ilustrativo de controle simples de temperatura e luminosidade:  
<http://www.youtube.com/watch?v=GlbFqAGcBp0>

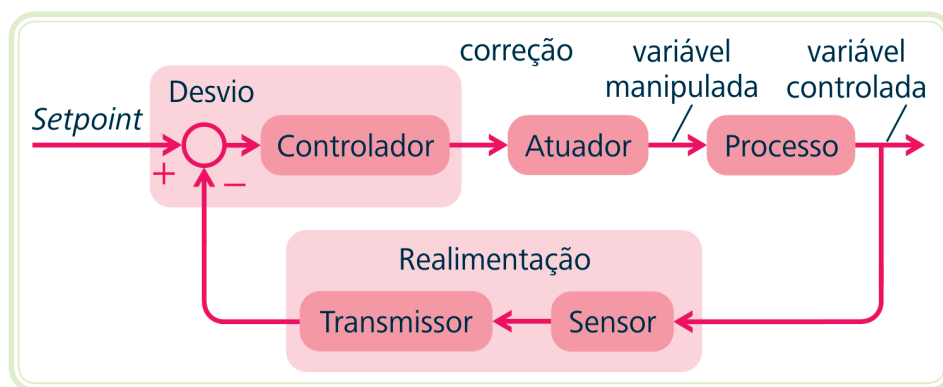


Veja uma aplicação empregando o sensor LM35:  
<http://hermes.ucs.br/ccet/demc/vjbrusam/inst/termostato1.pdf>





Assista a um vídeo de aplicação de sensores ultrassônicos.  
<http://www.youtube.com/watch?v=S3t17ifimJI>

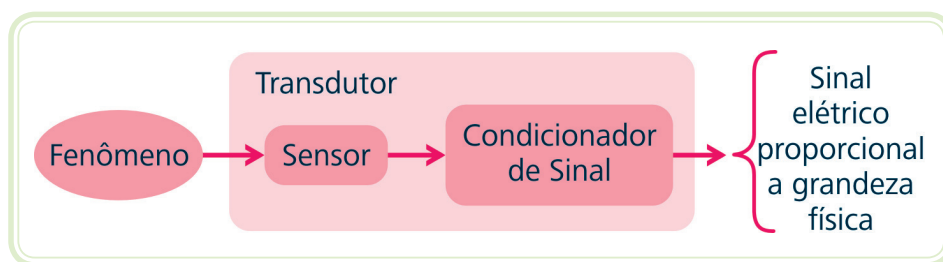


**Figura A: Diagrama de blocos de um controle de processos**

Fonte: CTISM

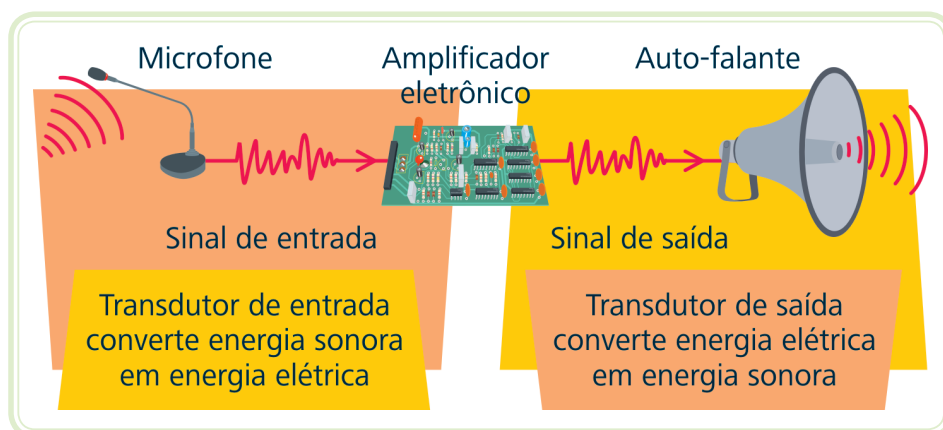
Num sistema em malha aberta o sensor e o condicionador de sinal são opcionais e não determinam o funcionamento do processo. Assim a realimentação, destacada na Figura A, é inexistente.

No sensor pode ser inserido um condicionamento de sinal para que este possa ser processado. Ao conjunto sensor e condicionador de sinal que converte uma forma de energia em outra dá-se o nome de transdutor (ver Figura B). A Figura C mostra um exemplo de um transdutor.



**Figura B: Funcionamento de um transdutor**

Fonte: CTISM



**Figura C: Transdutores de entrada e saída**

Fonte: CTISM

# Projeto instrucional

**Disciplina:** Instrumentação Aplicada (carga horária: 90h).

**Ementa:** Fundamentos de máquinas elétricas. Tecnologia de sensores. Seleção de sensores. Medidores de temperatura. Medidores de pressão. Medidores de vazão. Medidores de nível.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Tecnologia de sensores	Conhecer o princípio de funcionamento de parte dos sensores existentes no mercado. Conhecer as características de cada sensor citado. Contextualizar a aplicação dos sensores de forma geral.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: links de leitura complementar indicados na apostila.	16
2. Seleção de sensores	Identificar os sensores conforme aplicações. Identificar características e aplicação dos sensores. Selecionar e especificar sensores. Instalar sensores.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: links de leitura complementar indicados na apostila.	22
3. Medida de temperatura	Identificar os sensores de temperatura, conforme aplicações. Identificar características e aplicação dos sensores. Selecionar e especificar os sensores.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: links de leitura complementar indicados na apostila.	16
4. Medida de pressão	Conhecer o princípio de funcionamento dos medidores de pressão. Conhecer as características dos sensores de pressão. Conhecer e selecionar sensores e transmissores de pressão.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: links de leitura complementar indicados na apostila.	12
5. Medidores de vazão	Conhecer o princípio de funcionamento de parte dos sensores de vazão existentes no mercado; Conhecer as características dos sensores.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: links de leitura complementar indicados na apostila.	12

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
6. Medida de nível	Conhecer os sensores empregados em medida de nível. Identificar as aplicações de medidores de nível.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: links de leitura complementar indicados na apostila.	12

# Aula 1 – Tecnologia de sensores

## Objetivos

Conhecer o princípio de funcionamento de parte dos sensores existentes no mercado.

Conhecer as características de cada sensor citado.

Contextualizar a aplicação dos sensores de forma geral.

## 1.1 Importância da tecnologia de sensores

O conhecimento da tecnologia de sensores é fundamental para entender o emprego destes em instrumentação aplicada. As vantagens, desvantagens e custo podem ser reconhecidos através do estudo realizado neste capítulo sobre conhecimento de técnicas e materiais empregados na construção de cada sensor.

## 1.2 Sensores capacitivos e resistivos

Os sensores capacitivos consistem de duas placas de metais paralelas com dielétrico. O valor da capacitância pode ser alterado pela proximidade de um objeto. Esse princípio pode ser empregado para detectar proximidade, conteúdo de misturas, umidade, nível de líquidos, pressão, deslocamento, entre outros.

Os sensores resistivos indicam, indiretamente, uma propriedade da variável a ser medida pelo valor da resistência do material. Esse princípio é empregado em medidas de temperatura, usando resistências termométricas ou termistores, e medida de proximidade, usando *strain gauges*.

## 1.3 Sensores magnéticos

Utilizam os fenômenos da indutância, relutância ou correntes parasitas para indicar valores de medida de alguma variável.

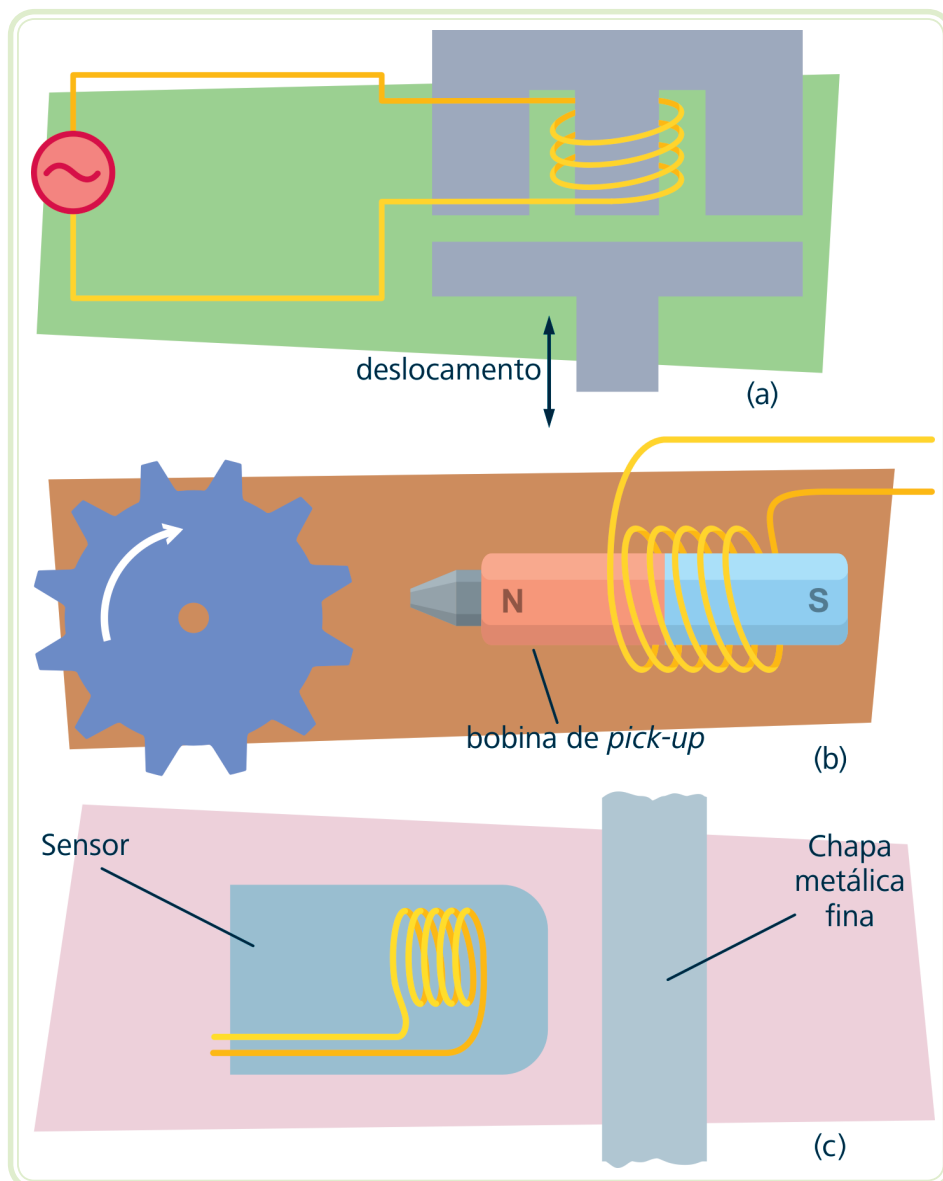


À medida que o material ferromagnético aproxima-se do núcleo tipo E, o valor da indutância é alterado e empregado para detectar o movimento. O módulo da corrente nesse circuito é  $I = V/(\omega L)$ . Uma vez que  $L$  foi alterado,  $I$  será modificado. Esse princípio pode ser empregado em transformadores diferenciais para medir deslocamentos lineares.

As correntes parasitas alteram a indutância da bobina exploradora (ponteira) e essa mudança pode ser transformada em uma tensão CC de saída proporcional a distância entre a ponteira e o alvo. Medidas de resolução de 0,1  $\mu\text{m}$  podem ser conseguidas.

Sensores indutivos transformam o movimento numa variação da indutância entre os elementos magneticamente acoplados. Um exemplo disso é mostrado na Figura 1.1(a).

Em sensores de relutância variável, uma bobina pode ser enrolada num núcleo ferromagnético ou, preferencialmente, num ímã permanente como um sensor de indutância variável. Esses dispositivos são usados normalmente para medir velocidades angulares. Conforme mostra a Figura 1.1(b), à medida que a roda dentada gira, é produzida uma sequência de pulsos proporcionais à variação do fluxo e assim varia a indutância.



**Figura 1.1: Sensores magnéticos: (a) princípio básico de funcionamento do sensor indutivo, (b) sensor de relutância variável e (c) sensor de correntes parasitas**

Fonte: CTISM

Sensores de correntes parasitas consistem de uma ponteira contendo uma bobina, conforme vemos na Figura 1.1(c), a qual é excitada em alta frequência, tipicamente em 1 MHz. Isto é usado para medir a proximidade de um alvo metálico. Devido à excitação em alta frequência, elevadas correntes parasitas surgem na superfície do alvo, e a amplitude reduz-se quase a zero em pequenas distâncias do alvo. Isso permite que o sensor trabalhe com alvos bem pequenos, tais como diafragmas de aço de um sensor de pressão. Esses sensores podem detectar, sem contato direto, os elementos metálicos que passam através de um campo magnético, convertendo em um sinal elétrico que pode ser interpretado por um CLP (Controlador Lógico Programável) ou por uma máquina. Os sensores indutivos caracterizam-se por ter grande durabilidade, excelente precisão, alta frequência de comutação, e por não serem sensíveis a vibrações.



Leia textos sobre correntes parasitas e sensores indutivos em:  
[http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13\\_32.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala13/13_32.asp)

<http://www.automacoes.com/2008/10/sensores-digitais.html>

## 1.4 Sensores de efeito Hall

O sensor de Efeito Hall é usado para medir a magnitude de um campo magnético e consiste de um condutor, o qual é percorrido por corrente alinhada perpendicularmente ao campo magnético, como é mostrado na Figura 1.2. Isso produz uma diferença de potencial diretamente proporcional ao campo magnético e pode ser usado para medir determinada grandeza. Para uma corrente de módulo  $I$  e de campo magnético  $B$ , a tensão produzida é definida por  $V = K_H BI$ , sendo  $K_H$  a constante de Hall. O condutor do sensor de efeito Hall normalmente é feito de materiais semicondutores, pois produz uma tensão  $V$  maior.



Veja uma animação sobre princípio de funcionamento do sensor de efeito Hall:  
[http://www.youtube.com/watch?v=\\_atdracqtpq](http://www.youtube.com/watch?v=_atdracqtpq)



Assista a um vídeo de aplicações do sensor de efeito Hall:  
<http://www.youtube.com/watch?v=keGdto5FC0g>

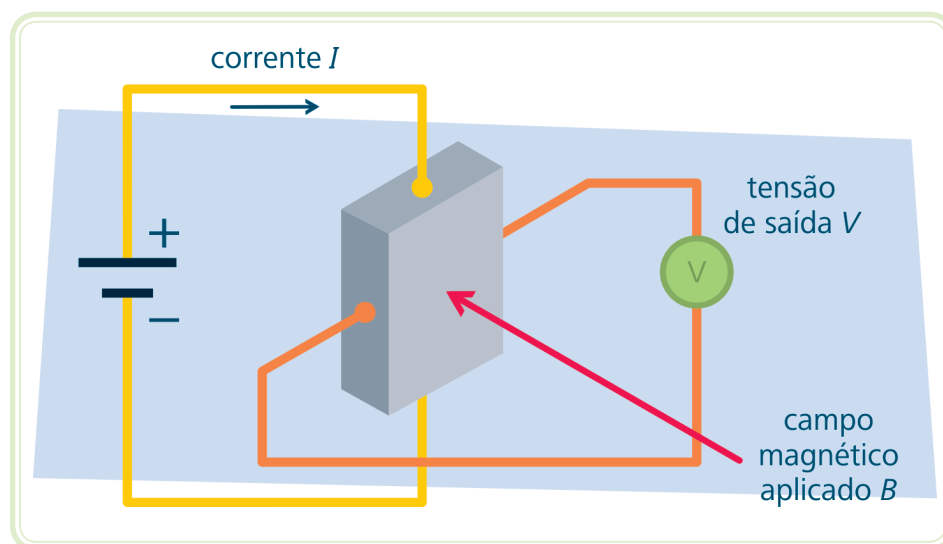


Figura 1.2: Princípio do sensor de efeito Hall

Fonte: CTISM



A constante piezoelétrica  $K_p$  varia muito entre os materiais. Aplicando 1 g a um cristal de  $A=100 \text{ mm}^2$  e  $d=1 \text{ mm}$ , proporciona 23  $\mu\text{V}$  para quartzo e 14 mV para o titanato de bário.



Veja animações e vídeos do efeito piezoelétrico:  
[http://www.bestner.com/eng/html/piezo\\_01.php](http://www.bestner.com/eng/html/piezo_01.php)

<http://www.morganelectroceramics.com/resources/piezo-ceramic-tutorials/piezolectric-voltage/>

<http://www.youtube.com/watch?v=Jglork3SDck>



Observe uma aplicação de materiais piezoelétricos utilizados como motores:  
<http://www.youtube.com/ach?v=wrqwcadym7q&nr=1>

<http://www.youtube.com/watch?v=ga59hgjdqhm>

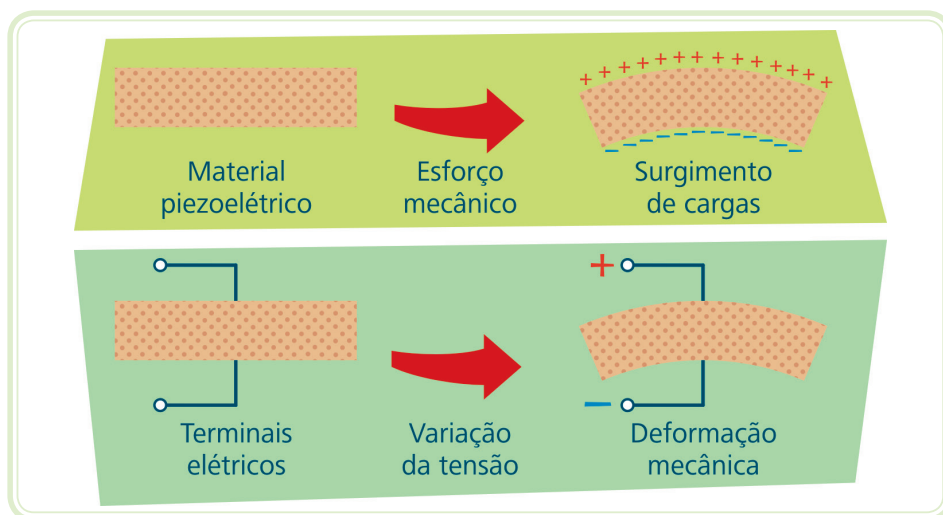
## 1.5 Sensores piezoelétricos

Os materiais piezoelétricos produzem uma tensão em seus terminais quando uma força é aplicada a eles. Esses são usados frequentemente como receptores ultrassônicos e também transdutores de deslocamento em dispositivos que medem aceleração, força e pressão.

Para um material retangular, a tensão produzida é definida por:  $V=K_p Fd/A$  e é diretamente proporcional à constante piezoelétrica do material  $K_p$ , à força  $F$  aplicada, à espessura do material  $d$ , e é inversamente proporcional à área  $A$  do material.

Os materiais que exibem essa propriedade são o quartzo, materiais sintéticos, como o sulfato de lítio e cerâmicas ferroelétricas como o titanato de bário. Certos filmes poliméricos tais como *polyvinylidene* também exibem as propriedades piezoelétricas. Esses produzem maiores tensões de saída que a maioria dos cristais e são muito úteis em aplicações de deslocamento que devem ser transformadas numa tensão. No entanto, apresentam limitações mecânicas de esforços e não são sujeitos em aplicações em que pode ocorrer ressonância. O princípio piezoelétrico é reversível, e, portanto, distorções podem ocorrer aplicando uma tensão e vice-versa. Em receptores ultrassônicos, as variações senoidais ultrassônicas são convertidas em forças aplicadas ao transdutor piezoelétrico. Da mesma forma, o movimento de um transdutor de deslocamento é causado por meio mecânico pela aplicação de uma força do transdutor piezoelétrico.

Implantando eletrodos na superfície desses materiais, pode ser medida uma diferença de potencial. A polaridade da tensão produzida depende de onde o material é comprimido ou estendido, como é mostrado na Figura 1.3.



**Figura 1.3: Princípio do sensor piezoelétrico**

Fonte: CTISM



## 1.6 Strain gauges

Baseiam-se no efeito piezoresistivo apresentado pelos materiais quando submetidos a uma força. São dispositivos que mudam a resistência quando são estendidos ou comprimidos. Eles permitem detectar pequenos deslocamentos, na faixa de 0 – 50  $\mu\text{m}$ , e são usados como transdutores, por exemplo, num diafragma de pressão que converte variações de pressão em pequenos movimentos.

Erros na faixa de 0,15% são obtidos e são fabricados com vários valores nominais de resistência, desde 20, 350 e 1000 $\Omega$ .

O tipo tradicional de *strain gauge* (Figura 1.4(a)) consiste de um fio metálico que forma um *zig-zag* e é montado numa folha flexível. O fio normalmente é circular. Quando uma tensão mecânica é aplicada, a forma da seção transversal do fio muda. A resistência do fio é inversamente proporcional à área da seção transversal, portanto, existe uma variação na resistência.

Os *strain gauges* do tipo fio, mostrado na Figura 1.4(a), têm sido substituídos pelos do tipo folhas metálicas ou semicondutores da Figura 1.4(b)

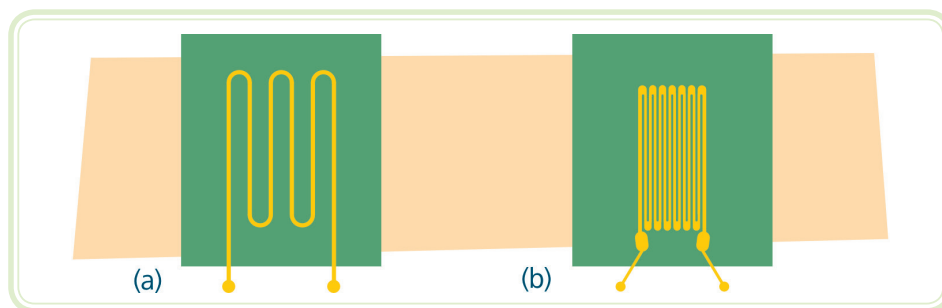


Figura 1.4: *Strain gauge*: (a) tipo fio; (b) tipo folha metálica

Fonte: CTISM

Esses sensores são amplamente empregados na medida de deformações e, associados à ponte de *Wheatstone*, podem ser empregados em uma série de aplicações que envolvem medidas de pressão, tensão, força, entre outras grandezas. Por ter um formato laminar, podem ser empregados em pequenos espaços e realizar medidas como limite de torção de um eixo metálico, sem grandes modificações para adaptações na medida.

## 1.7 Sensores óticos

Os sensores óticos são baseados na modulação de uma fonte de luz e um detector de luz. A luz pode ser transmitida por um cabo de fibra ótica, distribuída e a longas distâncias. Essa forma de transmissão tem imunidade a



Veja animação de *strain gauge* usado como célula de carga juntamente com uma ponte de *Wheatstone*:

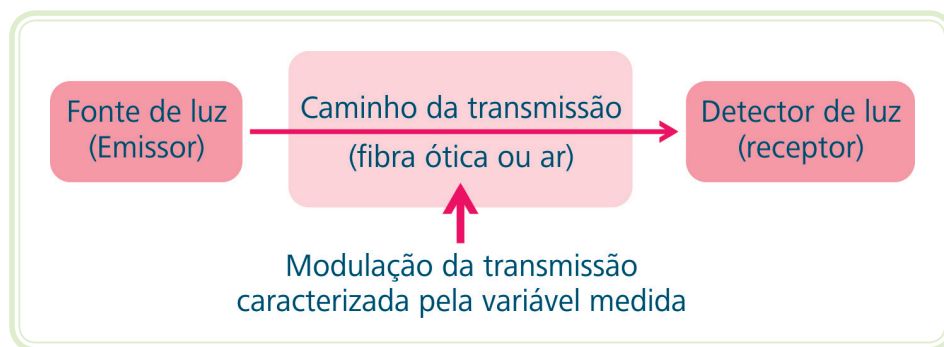
<http://www.rdpe.com/ex/hiw-sglc.htm>



Verifique conceitos e aplicações de ponte de *Wheatstone*:

[http://pt.wikipedia.org/wiki/ponte\\_de\\_wheatstone](http://pt.wikipedia.org/wiki/ponte_de_wheatstone)

ruídos induzidos eletromagneticamente e proporciona grande segurança em ambientes agressivos.



**Figura 1.5: Princípio de operação de sensores óticos**

Fonte: CTISM

As fontes de luz (emissor) utilizadas são lâmpadas com filamento de tungstênio, laser, e diodos emissores de luz (LEDs), usados preferencialmente por não serem afetados pela luz do sol.

Foto-transistor e fotodiodos são também usados, porém fotocélulas e foto-transistor são sensíveis à região infravermelha.

Os sensores óticos são usados comumente para medir proximidade, movimento e concentração de gás.

## 1.8 Sensores ultrassônicos

São usados em muitos campos de medidas, particularmente para medir vazão, nível de líquidos e deslocamento. O ultrassom consiste em frequências superiores a 20 kHz. Consiste num dispositivo que emite o ultrassom e outro dispositivo que recebe. As mudanças das variáveis são detectadas pelo tempo de viagem do ultrassom entre transmissor e receptor, ou mudança de fase. A forma mais comum de elementos ultrassônicos é um cristal piezoelétrico um invólucro. As frequências geralmente variam entre 20 kHz e 15 MHz.

## Resumo

Ao finalizarmos o estudo de tecnologia de sensores, conhecemos os principais tipos de sensores, os materiais e as particularidades, para que nas próximas aulas possamos relacionar os tipos de sensores com as respectivas aplicações.

## Atividades de aprendizagem



1. Descreva brevemente o princípio de funcionamento de sensores resistentes e capacitivos.
2. Descreva o funcionamento de sensores magnéticos.
3. Como o sensor de efeito *Hall* é empregado, isto é, qual o princípio que permite usá-lo como sensor?
4. Realize uma pesquisa rápida com “buscador”, na *Web*, e verifique a variedade de aplicações dos sensores que empregam o efeito *Hall*.
5. Em que aplicações emprega-se o *strain gauge*?
6. Qual o princípio de funcionamento de sensores piezoelétricos, piezoresistivos, ultrassônicos e óticos?
7. Que características tornam o *strain gauge* bastante atrativo em diversas aplicações que envolvam instrumentação industrial?
8. Que frequências são normalmente empregadas em aplicações com ultrassom?



# Aula 2 – Seleção de sensores

## Objetivos

- Identificar os sensores conforme aplicações.
- Identificar características e aplicação dos sensores.
- Selecionar e especificar sensores.
- Instalar sensores.

## 2.1 Importância da seleção dos sensores

A seleção de sensores é uma das tarefas mais importantes, pois a partir dessa escolha, determinam-se o custo e o êxito da implementação de um processo em automação industrial. Nesta aula serão abordados os sensores e os detalhes que influenciam na seleção e nos cuidados para sua instalação.

## 2.2 Classificação dos sensores

Os sensores podem ser identificados, de forma geral, quanto à natureza do tipo de sinal a ser controlado ou identificado num sistema: eles podem ser do tipo **discreto** ou do tipo **contínuo**.

### 2.2.1 Sensores discretos

Esses sensores apresentam dois estados devido à ocorrência de um evento, isto é, ligado/desligado (presença/ausência) como saída. Um exemplo desse tipo de sensor é uma chave fim de curso, mostrada na Figura 2.1(a). A Figura 2.1(b) mostra a foto de uma chave fim de curso.

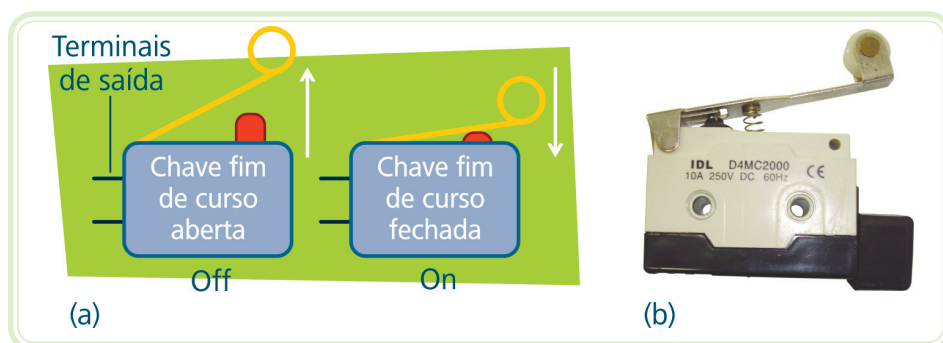
#### A-Z

##### **sinal discreto ou digital**

Indica a existência ou não de um evento. Pode assumir os valores zero ou um ou uma combinação destes.

##### **sinal contínuo ou analógico**

Pode assumir qualquer valor dentro de determinada faixa.



**Figura 2.1: Sensor discreto (chave fim de curso): (a) estados que a chave pode apresentar e (b) exemplo**

Fonte: CTISM



Veja fotos de sensores discretos eletrônicos capacitivos e indutivos: [http://www.supplierlist.com/product\\_view/jasmine84/25935/100526/capacitive\\_proximity\\_sensor.htm](http://www.supplierlist.com/product_view/jasmine84/25935/100526/capacitive_proximity_sensor.htm)

O Quadro 2.1 mostra resumidamente características para seleção dos sensores eletrônicos e dos sensores eletromecânicos.

Quadro 2.1: Comparativo entre sensores eletromecânicos e eletrônicos		
Características	Eletromecânicos	Eletrônicos
Necessidade de contato físico com o alvo	sim	não
Velocidade de resposta	baixa	alta
Frequência de comutação	baixa	alta
Vida útil de contatos ou ciclos de operação	limitada (contatos)	sem limites (ciclo)
Custo	baixo	elevado

## 2.2.2 Sensores contínuos

São empregados para monitorar grandezas físicas numa faixa contínua de valores estabelecidos entre limite mínimo e máximo. Apresentam, na saída, sinal de tensão, corrente ou resistência proporcional à grandeza física “sensoriada”. A Figura 2.2 mostra duas possibilidades de emprego de sensores contínuos.

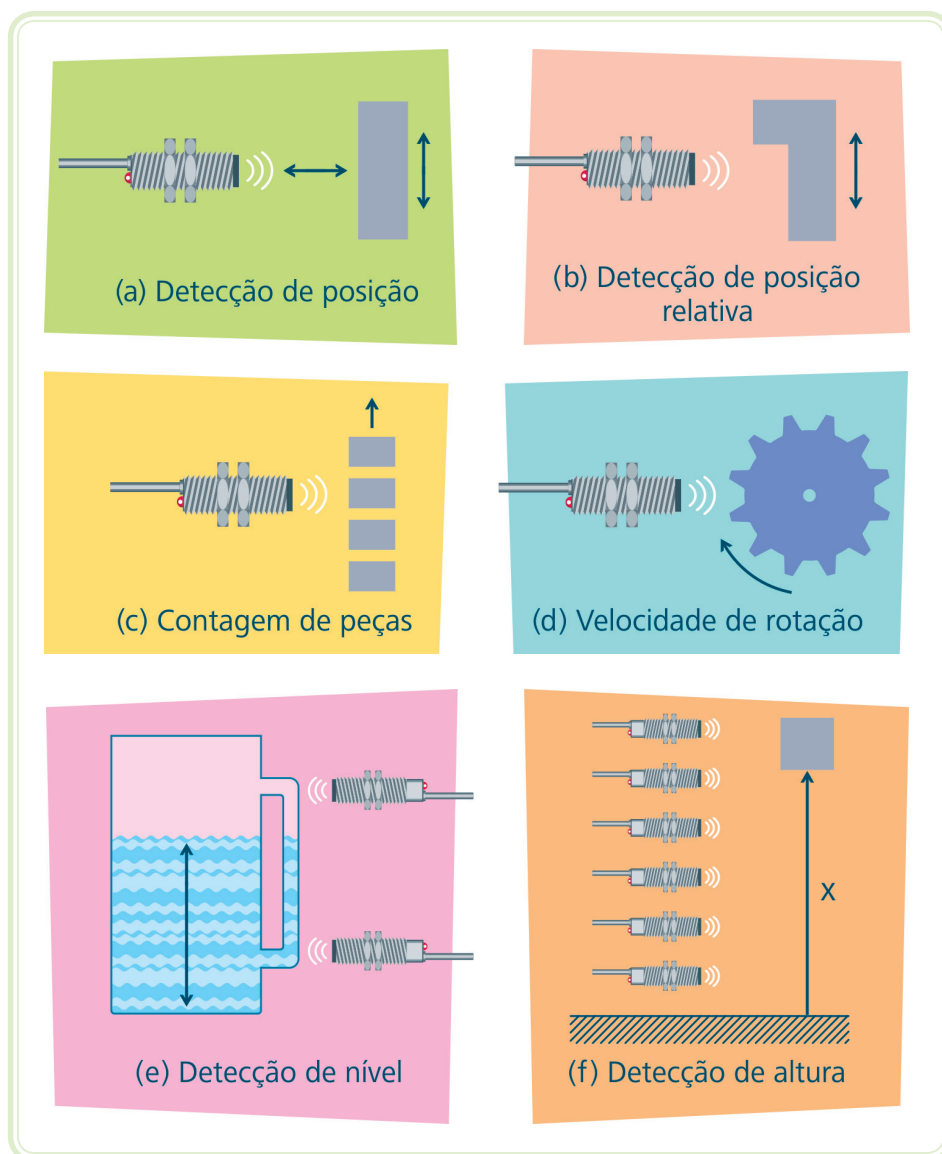


**Figura 2.2: Emprego de sensores contínuos: (a) indicação de uma grandeza analógica e (b) potenciômetro**

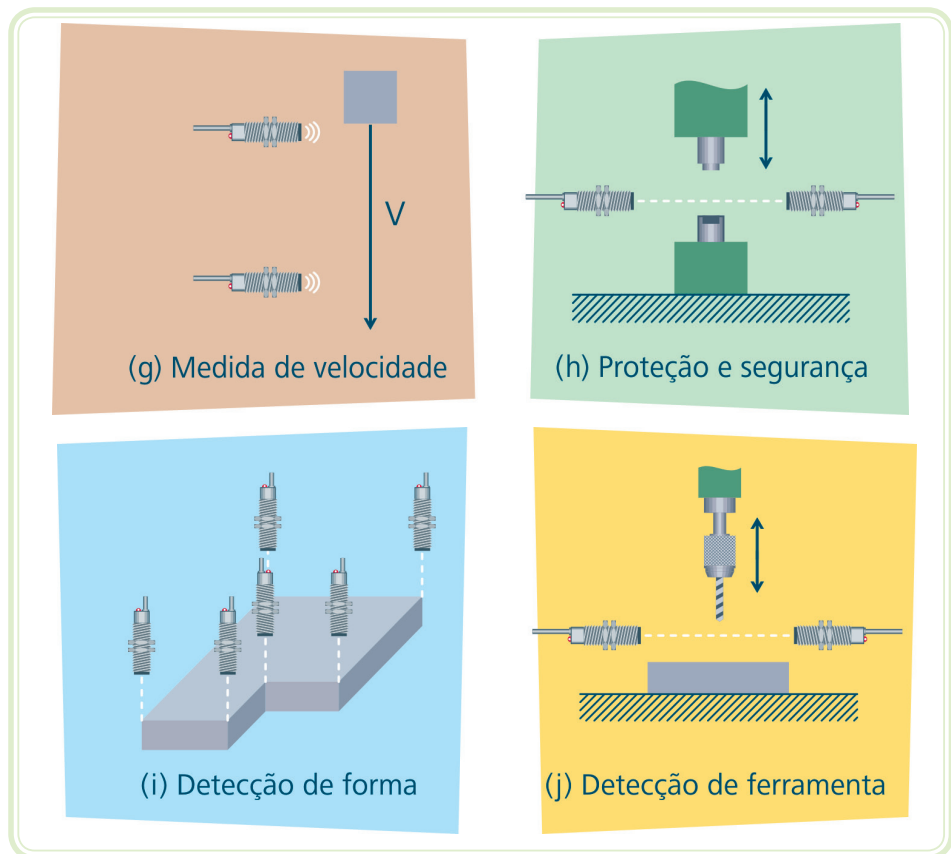
Fontes: (a) [www.onthedash.com](http://www.onthedash.com)  
(b) CTISM

## 2.3 Sensores de proximidade discretos

Detectam a presença de um determinado objeto em determinado local. As chaves eletromecânicas podem determinar a posição dos movimentos que são executados, porém com contato físico que limita a velocidade de atuação. O desenvolvimento da eletrônica trouxe diversos modelos de sensores de proximidade, com características específicas, para diversas aplicações e que não necessitam de contato, como por exemplo: sensores de proximidade magnéticos, indutivos, capacitivos, óticos e ultrassônicos. A Figura 2.3 mostra diversas aplicações empregando esses sensores.







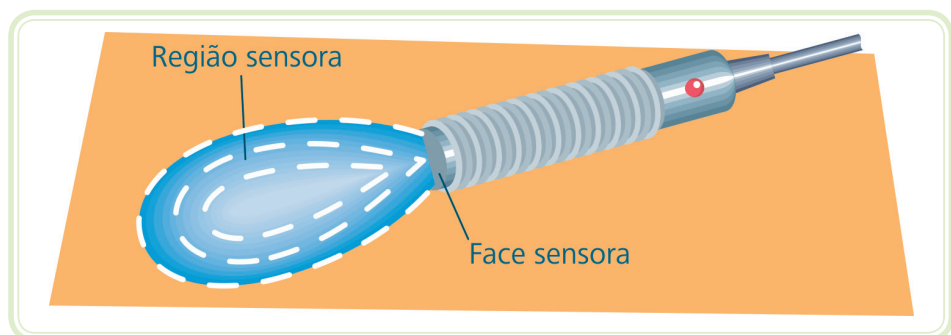
**Figura 2.3: Aplicações de detecção empregando sensores**

Fonte: CTISM

Embora sejam conhecidas as características, o custo, e as aplicações mais adequadas de cada sensor, algumas particularidades e definições são importantes para especificar e instalá-los:

### 2.3.1 Definições básicas

**a) Face sensora** – é a superfície de onde sai o campo eletromagnético dos sensores indutivos ou o campo elétrico dos sensores capacitivos, conforme ilustra a Figura 2.4.



**Figura 2.4: Sensor com a identificação da face e região sensora**

Fonte: CTISM

**b) Distância sensora nominal ( $S_n$ )** – 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 a máxima distância que o sensor pode operar.

**c) Distância sensora operacional ( $S_a$ )** – é a distância segura de operação, considerando-se todas as variáveis de industrialização, temperatura e tensão de alimentação.

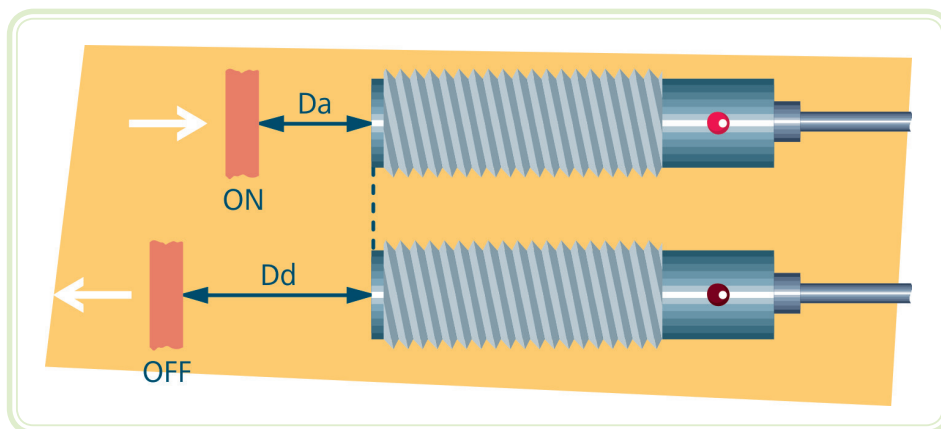
$$S_a = 0,81 \cdot S_n$$

**d) Alvo padrão** – é um acionador normalizado utilizado para calibrar a distância sensora nominal durante o processo de fabricação do sensor.

**e) Histerese** – é a diferença entre o ponto de acionamento (alvo aproxima-se da face sensora) e o ponto de desligamento (alvo afasta-se). Isso garante uma diferença entre o ponto de acionamento e desacionamento, evitando que numa possível vibração do sensor ou acionador, a saída oscile. A Figura 2.5 ilustra a histerese, mostrando o ponto de acionamento (ON), a uma distância  $D_a$ , e o ponto de desacionamento (OFF), a uma distância maior  $D_d$ .



O alvo padrão 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.



**Figura 2.5: Ilustração da histerese**

Fonte: CTISM

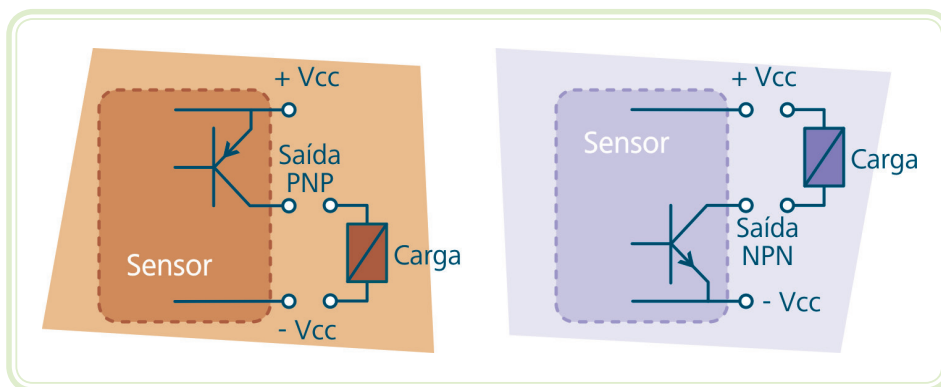
### 2.3.2 Configurações elétricas em corrente contínua

Os sensores de proximidade apresentam várias formas de estágios de saída. A configuração elétrica em corrente contínua é bastante empregada em automação de processos. Esses sensores são alimentados por uma fonte de

corrente contínua e possuem, no estágio de saída, um transistor que comuta a carga conectada ao sensor, isto é, liga ou desliga a carga de acordo com a sensibilização do sensor.

Existem ainda dois tipos de transistores de saída, um que comuta o terminal positivo da fonte de alimentação (PNP), e outro que comuta o terminal negativo da fonte de alimentação (NPN).

As configurações PNP e NPN apresentam um transistor de saída, conforme mostra a Figura 2.6.



**Figura 2.6: Saídas a transistores: (a) PNP e (b) NPN**

Fonte: CTISM

Esses tipos de sensores apresentam características que dependem do conhecimento das definições detalhadas a seguir:

Os sensores de CC geralmente possuem 3 ou 4 fios, dois da alimentação e os demais conforme o número de funções de saída.

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

**Normalmente Fechado (NF)** – quando o transistor de saída está normalmente saturado (sensor desativado, sem o acionador na região de sensibilidade) a carga está energizada, pois o transistor de saída está fechado (saturado). A carga será desenergizada quando o acionador entrar na região de sensibilidade do sensor.

**Saída reversora** – em um mesmo sensor, podemos ter uma saída NA e outra NF que permutam quando o sensor é acionado.

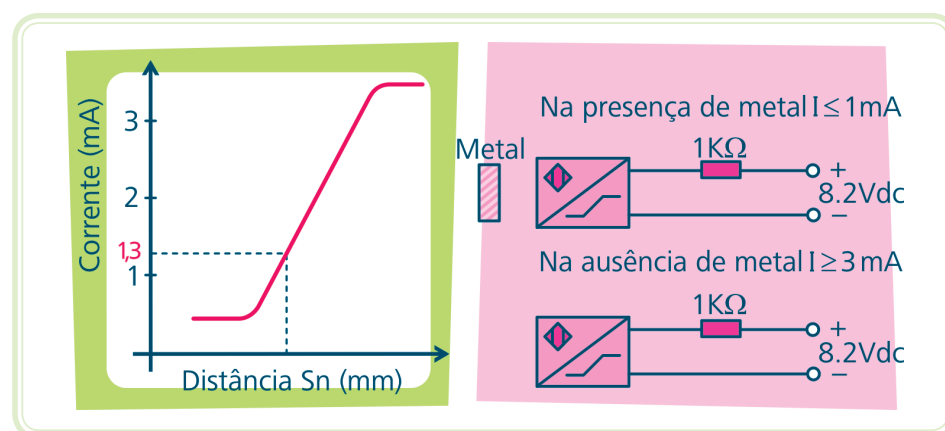
Os principais parâmetros elétricos que devem ser considerados nesse tipo de sensor são listados e definidos a seguir:

**Corrente de chaveamento** – é uma característica importante dos sensores CC, pois determina a potência da carga. Essa corrente consiste no valor máximo que pode ser comutado pelo transistor de saída (seguro). Se o sensor não possui um circuito de proteção contra curto-circuito, o transistor pode ser danificado.

**Tensão de alimentação** – os sensores de proximidade indutivos apresentam, geralmente uma faixa para a tensão de alimentação entre 10 a 30 V em corrente contínua.

Os sensores de corrente contínua do tipo Namur são bastante semelhantes aos sensores convencionais, exceto por não apresentarem o estágio de saída com o transistor de chaveamento. São usados em sensores indutivos de pequenas dimensões, nos quais circuitos eletrônicos mais complexos e maiores não poderiam ser montados.

A Figura 2.7 mostra a curva de corrente versus a distância nominal.



**Figura 2.7: Saídas de corrente e configurações de sensores do tipo Namur**

Fonte: CTISM

A fonte de alimentação em sensores CC determina a estabilidade de funcionamento e a vida útil do sensor. Uma boa fonte de alimentação deve possuir filtros que diminuam os efeitos dos ruídos elétricos gerados pelas cargas, os quais podem danificar os sensores de proximidade e outros equipamentos eletrônicos conectados à mesma. Desse modo, deve-se preferir fontes



Os sensores do tipo Namur são úteis em atmosferas potencialmente explosivas de indústrias químicas e petroquímicas, pois não comutam saídas de potências elevadas. Podem ser construídos segundo as normas de segurança, que preveem a manipulação de baixa energia elétrica evitando a detonação da atmosfera química por faíscas elétricas ou pelo efeito térmico de superfície. Esses dispositivos foram especialmente projetados segundo as especificações da Norma Técnica DIN19234, que prevê o sensor sem o estágio de saída. O circuito apresenta uma corrente de aproximadamente 3mA, quando está desacionado. A partir da aproximação do alvo metálico que absorve energia do campo eletromagnético a corrente reduz-se a aproximadamente 1mA. São empregados 2 fios que na presença de um objeto metálico variam sua resistência. A diferença entre esses sensores e os sensores tradicionais é a inexistência de estágio amplificador que aciona a saída.



Nos sensores em corrente alternada, quando o estágio de saída está desligado, o tiristor permanece bloqueado e a carga desenergizada, com uma pequena corrente de fuga que flui através da carga, necessária para manter o sensor funcionando e insuficiente para promover uma queda de tensão significativa na carga. Quando o estágio de saída está acionado, o tiristor de saída conduz à energização da carga, apresentando uma pequena queda de tensão no sensor sem interferir no funcionamento e permite manter o sensor alimentado.

Os modelos de 3 e 4 fios utilizam tecnologia mais antiga, muito semelhantes aos sensores de CC, pois possuem dois fios para alimentação interna e um terceiro que é conectado à carga, podendo ser NA, NF ou reversível.



Veja mais detalhes de sensores indutivos em:  
[http://www.instrutech.com.br/download/A09\\_A17.pdf](http://www.instrutech.com.br/download/A09_A17.pdf)

<http://www.automatizesensores.com.br/indutivos.html>

reguladas ou chaveadas, as quais apresentam custo inicial superior, porém proporcionam maior confiabilidade.

### 2.3.3 Configurações elétricas em corrente alternada (CA)

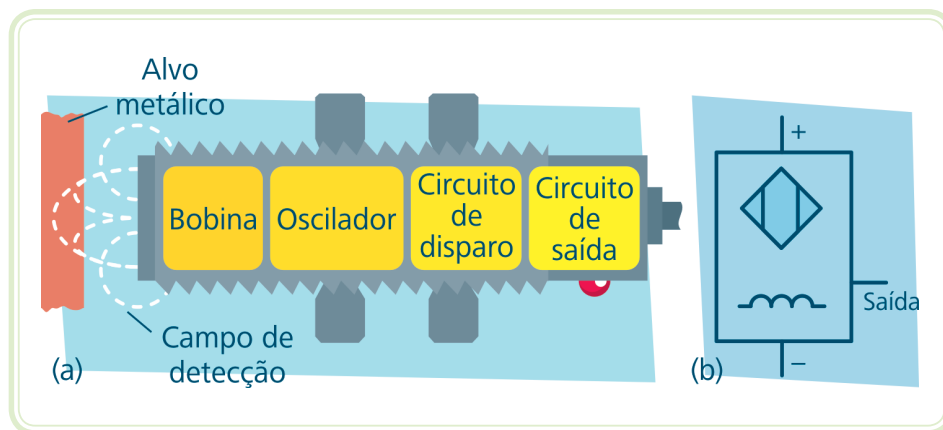
Os sensores de corrente alternada possuem o estágio de saída composto por um tiristor próprio para chaveamento de CA.

O sensor de CA a 2 fios possui, no estágio de saída, uma ponte retificadora juntamente com SCR, permitindo assim ao sensor conduzir corrente não polarizada.

## 2.4 Sensores de proximidade indutivos

Sensores de proximidade indutivos são dispositivos eletrônicos que detectam proximidade de elementos metálicos sem a necessidade de contato.

O princípio de funcionamento consiste em gerar um campo eletromagnético de alta frequência desenvolvido por uma bobina ressonante instalada na face sensora. A bobina é parte de um circuito oscilador que, em condição normal (desacionada), gera um sinal senoidal. Quando um metal aproxima-se do campo, por correntes de *Foucault*, absorve a energia do campo, diminuindo a amplitude do sinal gerado no oscilador. A redução da amplitude deste sinal é comparada com um valor padrão e aciona a saída. A Figura 2.8(a) mostra o esquema simplificado de um sensor indutivo, em que pode ser observado cada um desses detalhes. A Figura 2.8(b) mostra a simbologia empregada para sensores indutivos.



**Figura 2.8: Sensor indutivo: (a) diagrama do sensor e (b) simbologia**

Fonte: CTISM

A distância sensora operacional depende do tipo de material (metal), ou seja, é especificada para o Fe ou aço e deve ser multiplicada por um fator de redução mostrado na Tabela 2.1.

Exemplo: O aço inox tem um fator de redução (FR) de 0,85. Com isso, o alcance num alvo de aço inox é menor em relação a um alvo padrão de aço.

**Tabela 2.1: Fatores de redução da distância sensora normalizados em relação ao Fe e Aço**

Material	FR	Material	FR
Ferro e Aço	1,0	Latão	0,5
Cromo e Níquel	0,9	Alumínio	0,4
Aço Inox	0,85	Cobre	0,3

## 2.5 Sensores de proximidade capacitivos

São dispositivos eletrônicos que detectam a presença de materiais orgânicos, pós, líquidos, entre outros. A parte ativa compreende dois eletrodos metálicos destacados na figura 2.9(a). As Figuras 2.9(b) e (c) mostram a simbologia e o diagrama básico do sensor capacitivo, respectivamente. A Tabela 2.2 indica a permissividade relativa do dielétrico dos principais materiais.



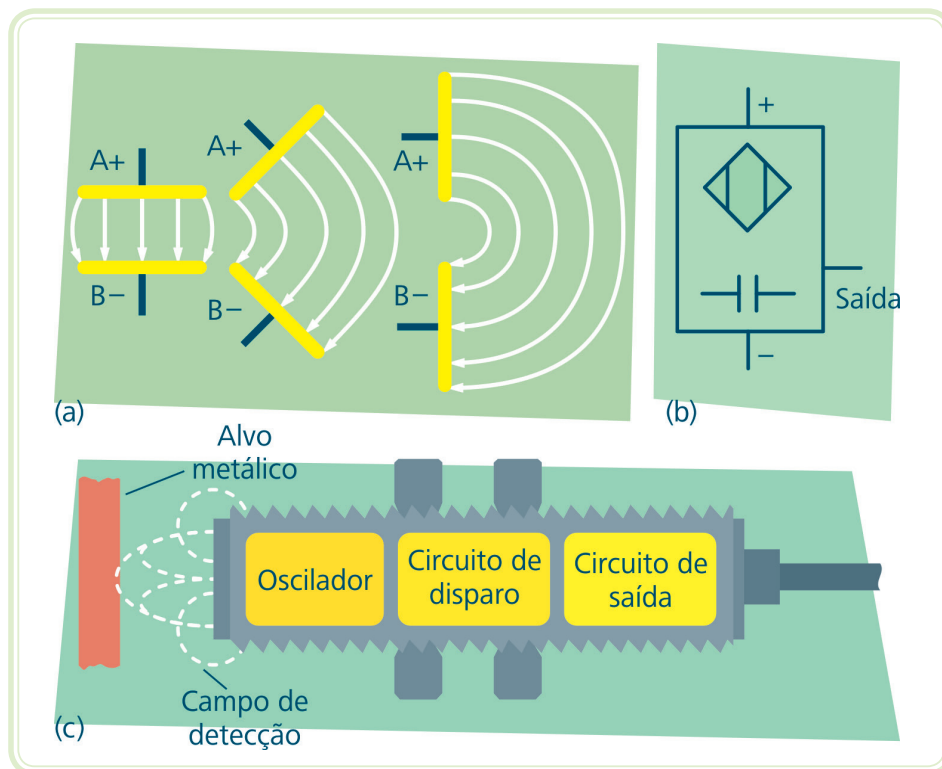
Observe aplicações de sensores capacitivos em: <http://www.automatizesensores.com.br/capacitivos.html>



Verifique aplicações de diversos tipos de sensores no site a seguir no item sensores: <http://www.sick.com.br>



O ajuste de sensibilidade dos sensores capacitivos é protegido por um parafuso que impede a penetração de líquidos e vapores no sensor. Esse ajuste destina-se a reduzir a influência do acionamento lateral no sensor, reduzindo a distância sensora. Permite ainda que se detectem alguns materiais dentro de outros, como por exemplo: líquidos dentro de garrafas ou reservatórios com visores de vidro, pós dentro de embalagens, ou fluídos em mangueiras plásticas.

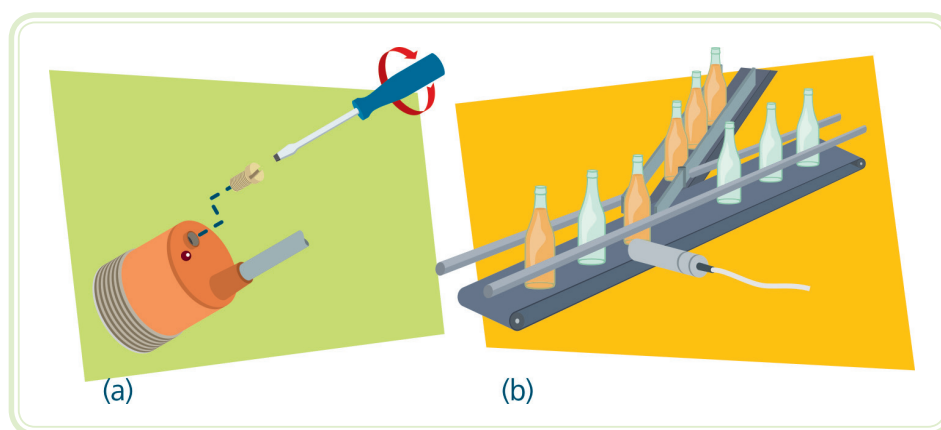


**Figura 2.9: Sensor capacitivo: (a) princípio básico, (b) simbologia e (c) diagrama do sensor**  
Fonte: CTISM

**Tabela 2.2: Permissividade relativa dos materiais em relação ao vácuo**

Material	Permissividade Relativa ( $\epsilon$ )
Ar, vácuo	1
Óleo, papel, petróleo, poliuretano, parafina, silicone e teflon	2 - 3
Araldite, baquelite, quartzo, madeiras leves	4 - 5
Mármore, pedras, madeiras pesadas	6 - 8
Água, alcoólicos, soda cáustica	9 - 80

O ajuste de sensibilidade do sensor capacitivo é realizado por um parafuso localizado no sensor, conforme indica a Figura 2.10(a). A Figura 2.10(b) mostra uma aplicação de sensores capacitivos.



**Figura 2.10: Sensor de proximidade capacitivo: (a) parafuso para ajuste de sensibilidade e (b) utilização para detecção de líquido dentro em garrafas**

Fonte: CTISM



Leia mais sobre sensores óticos e exemplos de aplicação:

<http://www.eee.ufg.br/~jwilson/Aula%20de%20Transdutores.pdf>



O emprego de sensores passivos é recomendável principalmente em ambientes fechados, pois a faixa de operação efetiva destes sensores é inferior a dos ativos, normalmente não ultrapassa 20 metros. São usados principalmente para alarmes de intrusão, pois detectam o calor humano a uma distância na faixa de 15 a 20m.

## 2.6. Sensores de proximidade fotoelétricos

Esses sensores também são denominados sensores óticos, os quais manipulam a luz para detectar a presença de um acionador o qual, na maioria das aplicações, é o próprio produto.

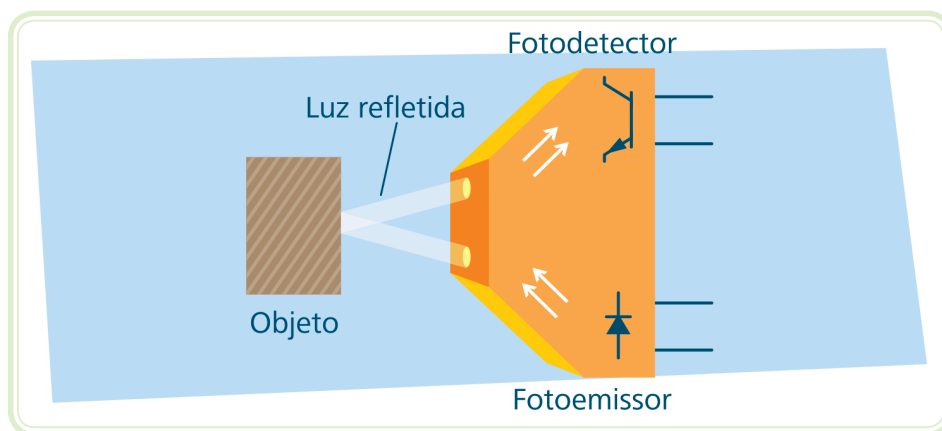
### 2.6.1 Princípio de operação

O funcionamento desses tipos de sensores está relacionado com a transmissão e recepção de luz na região infravermelha que é invisível para o ser humano, de forma a detectar (por reflexão ou interrupção) a presença do acionador.

Os sensores que necessitam transmissor e receptor de infravermelho separado são denominados ativos, enquanto, os que apresentam somente receptores são classificados passivos, pois não emitem ondas infravermelhas, apenas detectam a movimentação dessas nas suas áreas de atuação.



Assim, sensores fotoelétricos ativos de proximidade apresentam um transmissor que envia um feixe de luz através de um diodo emissor de luz. Esses emitem *flashes* de alta potência e de curta duração, pois isso evita que o receptor seja “sensibilizado” pela luz ambiente. O receptor é composto por um fototransistor que é sensível à luz que, em conjunto com um filtro sintonizado na mesma frequência de pulsação dos *flashes* do transmissor, faz com que o receptor detecte somente a luz do transmissor, conforme mostra a Figura 2.11.



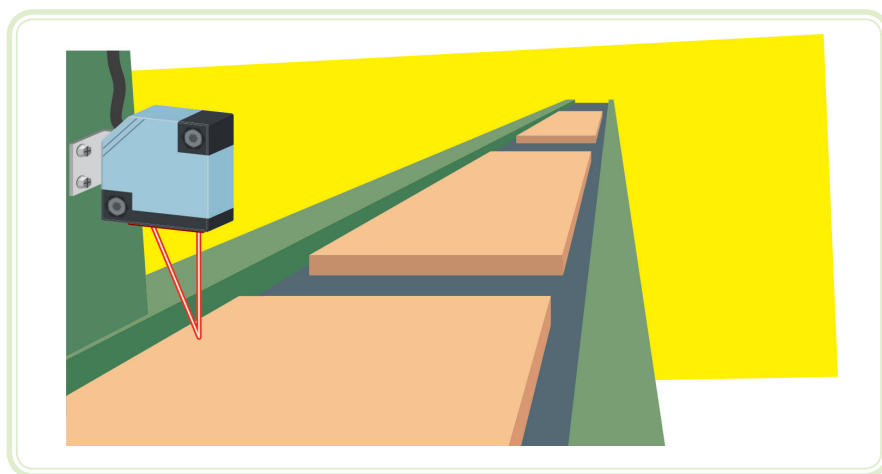
**Figura 2.11: Princípio da detecção ótica**

Fonte: CTISM

A seguir são apresentadas diversas configurações desses sensores, conforme o sistema empregado para detectar a presença de um objeto ou produto.

## 2.6.2 Sistema por reflexão

Detecta a presença do objeto a cerca de um metro sem definir a distância do objeto conforme mostra a Figura 2.12.

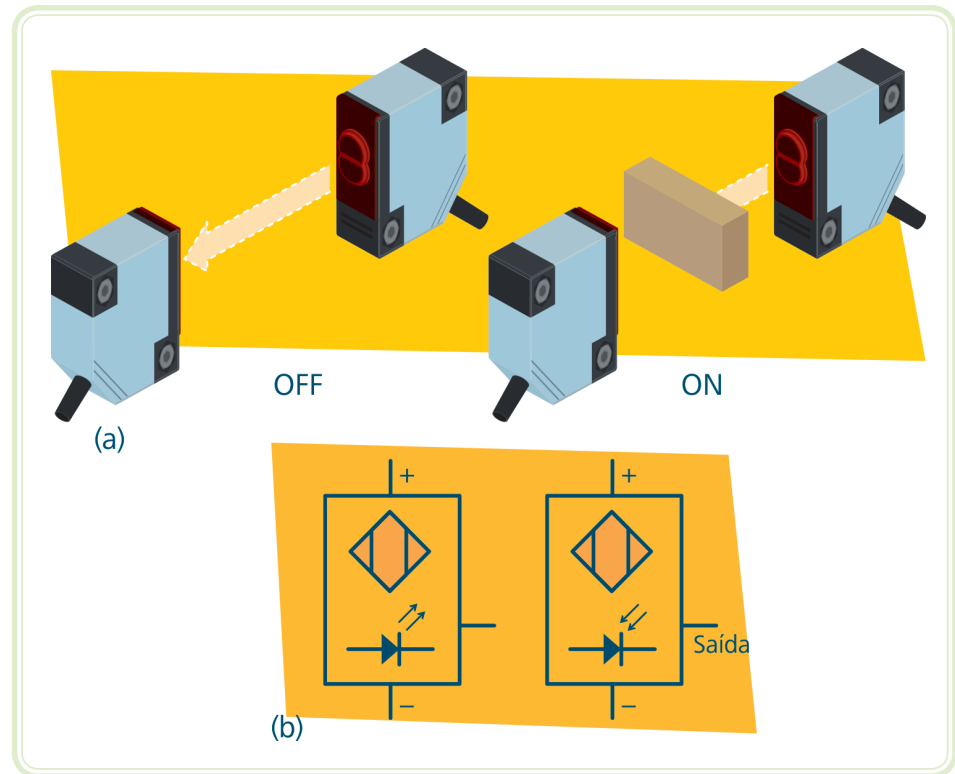


**Figura 2.12: Exemplo de detecção ótica: sistema por reflexão**

Fonte: CTISM

### 2.6.3 Sistema por barreira direta

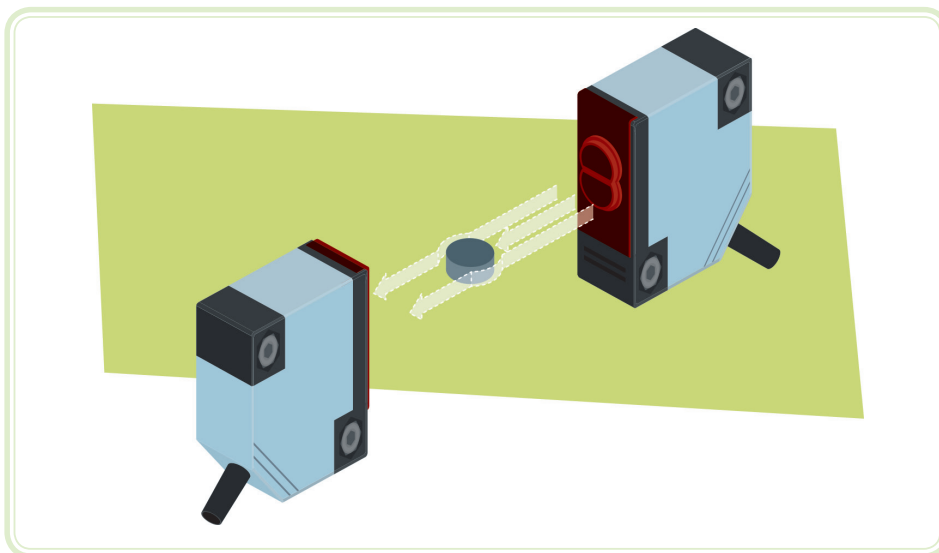
O transmissor e o receptor estão em unidades distintas e devem ser dispostos frente a frente, de forma que o receptor sempre receba a luz do transmissor. A Figura 2.13(a) mostra a interrupção do feixe de luz, situação na qual a saída será acionada detectando o objeto.



**Figura 2.13: Sensor: (a) atuação por barreira direta e (b) simbologia**

Fonte: CTISM

Deve-se ficar atento às dimensões mínimas recomendadas ao objeto, pois o feixe de luz pode contorná-lo e atingir o receptor, sem o acionamento conforme ilustra a Figura 2.14.



**Figura 2.14: Falha na detecção de objetos de dimensões menores que as recomendadas**  
Fonte: CTISM



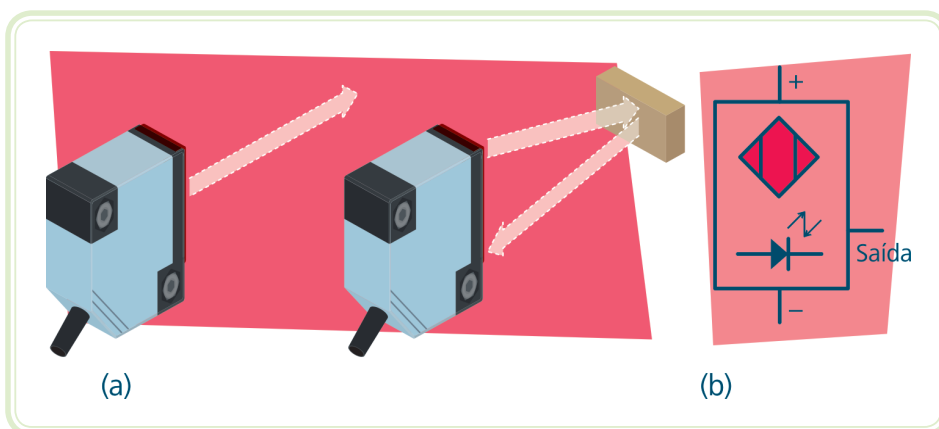
Nos casos em que objetos apresentam dimensões menores utiliza-se sensores com distância sensora menor e, assim, permitem detectar esses objetos.

### 2.6.4 Sistema por difusão (fotosensor)

Nesse sistema o transmissor e o receptor são montados na mesma unidade. 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, conforme mostra a Figura 2.15(a). A Figura 2.15(b) mostra a simbologia desse tipo de sensor. Nesse sistema pode-se detectar desde poucos centímetros até vários metros.



Ver veículo que emprega fotosensor para seguir uma linha definida:  
<http://www.youtube.com/watch?v=JWrUP8-bN-0>



**Figura 2.15: Sensor: (a) sistema ótico por difusão e (b) simbologia**  
Fonte: CTISM



Leia tutorial sobre fotosensores em:  
[http://www.bannerengineering.com/training/div\\_home.php?div=1](http://www.bannerengineering.com/training/div_home.php?div=1)

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, o qual é empregado durante a industrialização para calibrar a distância sensora nominal ( $S_n$ ).

A distância sensora operacional ( $S_a$ ), para modelos tipo fotosensor, tem fatores que influenciam no seu valor, dado por:

$$S_a = 0,81 \cdot S_n \cdot F$$

A cor, o material e a rugosidade determinarão o valor de  $S_a$ . As tabelas 2.3 e 2.4 mostram os fatores de redução em função do material e da cor do objeto a ser detectado.

**Tabela 2.3: Fatores de redução em função do tipo de material ( $F_m$ )**

Material	$F_m$	Material	$F_m$
Metal polido	1,2 - 1,8	Borracha	0,4 - 0,7
Metal usinado	0,95 - 1,0	Papelão	0,5 - 0,6
Papéis	0,95 - 1,0	Pano	0,5 - 0,6
Madeira	0,7 - 0,8		



Normalmente, os sensores óticos possuem imunidade à iluminação ambiente, pois operam em frequências diferentes. Mas podem ser afetados por uma fonte muito intensa como um raio solar incidindo diretamente sobre as lentes. Entende-se como meio de propagação, o meio em que a luz do sensor deverá percorrer. A atmosfera em alguns casos pode dificultar a passagem da luz devido à presença de partículas em suspensão.

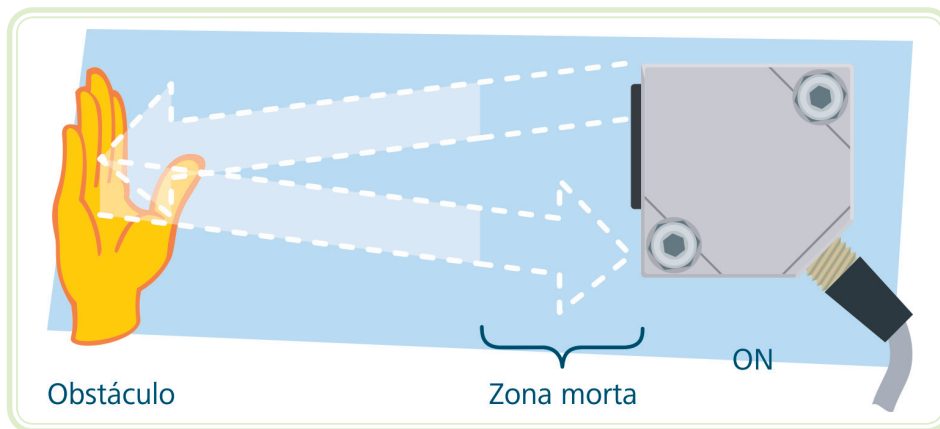
**Tabela 2.4: Fatores de redução em função da cor ( $F_c$ )**

Cor	$F_c$	Cor	$F_c$
Branca	0,95 - 1	Azul Clara	0,6 - 0,7
Amarela	0,9 - 0,95	Violeta	0,5 - 0,6
Verde	0,8 - 0,9	Preta	0,2 - 0,5
Vermelha	0,7 - 0,8		

### Exemplo

Madeira ( $F_m = 0,7$ ), branca ( $F_c = 1$ ) gera  $F = 0,7 \times 1 = 0,7$ .

A zona morta é definida como a área próxima ao sensor na qual não se detecta o objeto, pois nessa região não existe um ângulo de reflexão da luz que chegue ao receptor. A figura 2.16 mostra uma ilustração da zona morta que é definida normalmente entre 10 e 20 % da distância sensora nominal  $S_n$ .

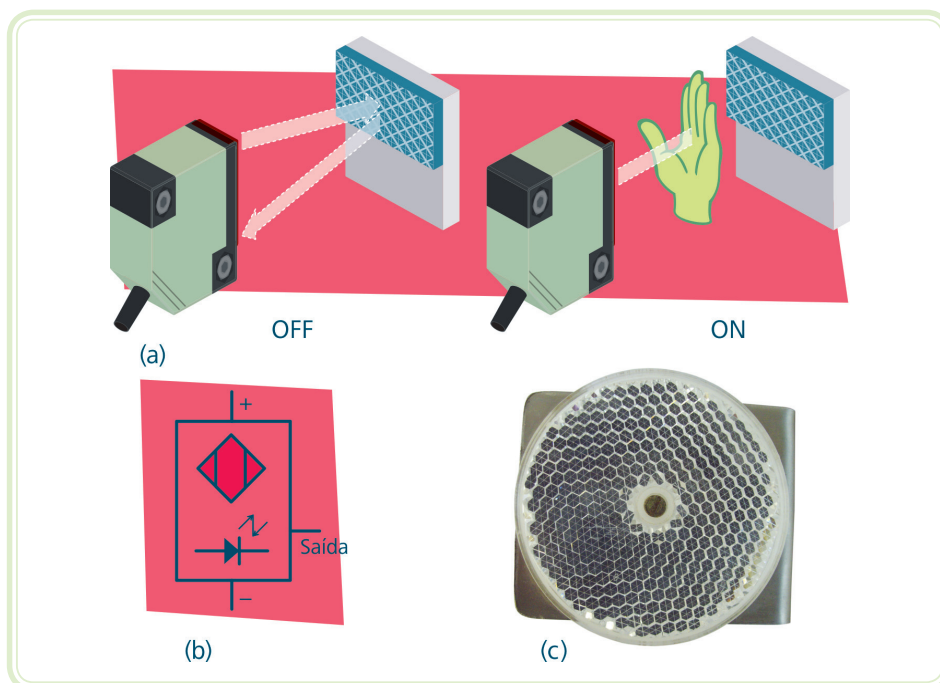


**Figura 2.16: Detalhe da zona morta**

Fonte: CTISM

### 2.6.5 Sistema retro reflexivo

O emissor e receptor estão na mesma unidade. O feixe de luz refletido por um espelho prismático (ver na Figura 2.17).



**Figura 2.17: (a) Sensores retro reflexivos de espelho prismático, (b) simbologia e (c) exemplo de espelho prismático**

Fonte: CTISM

O espelho prismático tem superfícies inclinadas com ângulo de 45 graus, o que permite que o feixe de luz emitida e refletida seja paralelo, o que não ocorre quando a luz é refletida diretamente por um objeto, pois ocorre um espalhamento da luz em diversos ângulos. A distância sensora para modelos reflexivos é função da área de reflexão e o tipo de espelho prismático.



Saiba mais sobre sensores retro reflexivos acessando:  
<http://www.sick.com.br/br/produutos/sensoresindustriales/sensoresfotoetricosreflexao/pt.html>



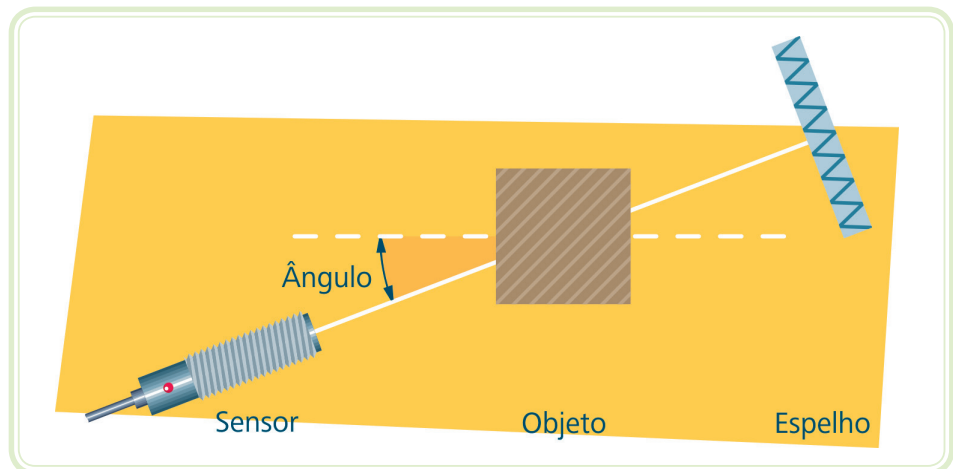
O espelho prismático consiste de pequenos espelhos em forma de pirâmide que facilitam a reflexão do feixe na mesma direção de incidência facilitando, assim, a instalação.

A detecção de objetos transparentes, tais como garrafas de vidro e vidros planos pode ser realizada com a angulação do feixe em relação ao objeto ou através de ajustes de sensibilidade por meio de potenciômetros.

Quando o sistema reflexivo detecta objetos brilhantes ou de superfícies polidas, tais como engradados plásticos e etiquetas brilhantes, cuidados especiais devem ser tomados, pois o objeto pode refletir o feixe de luz e falhar na detecção. Para evitar a falha, aconselha-se a montagem angular. Na montagem angular ou filtro polarizado, o feixe de luz forma um ângulo de 10 a 30° em relação ao eixo perpendicular ao objeto, conforme mostra a figura 2.18.



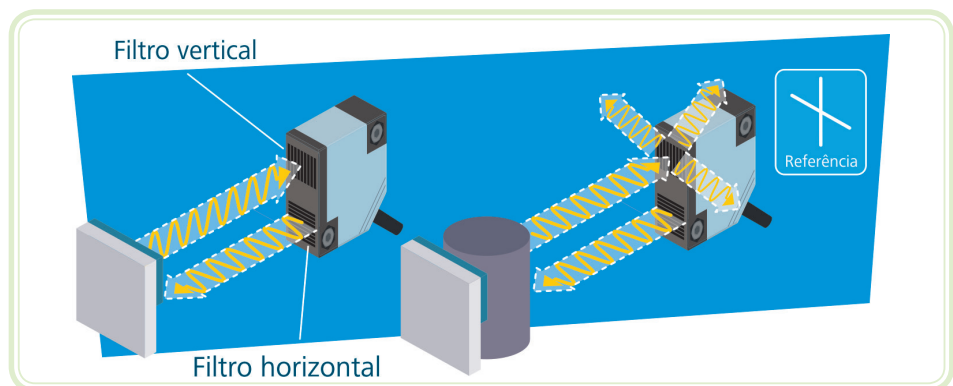
Na montagem angular devem ser realizados testes práticos.



**Figura 2.18: Montagem angular do sistema sensor espelho**

Fonte: CTISM

A Figura 2.19 mostra sensores com filtros polarizados incorporados, os quais servem para orientar a luz emitida, permitindo apenas a passagem dessa luz na recepção, que é diferente da luz refletida pelo objeto, a qual se espalha em todas as direções.



**Figura 2.19: Filtro polarizado com orientação da luz e com luz espalhada**

Fonte: CTISM

Os sensores óticos normalmente possuem imunidade à iluminação ambiente, pois operam em frequências diferentes, porém podem ser afetados por uma fonte muito intensa como um raio solar incidindo diretamente sobre as lentes.

O meio de propagação define onde a luz do sensor deverá percorrer, porém a atmosfera em alguns casos pode estar poluída com partículas em suspensão, dificultando a passagem da luz.

A Tabela 2.5 apresenta os fatores de atmosfera que devem ser acrescidos para definir o valor da distância sensora operacional  $S_a$ .

**Tabela 2.5: Fatores de redução em função da atmosfera ( $F_{atm}$ )**

Material	$F_{atm}$
Ar puro (com umidade e condensação)	1
Fumaça e fibras em suspensão (com alguma condensação)	0,4 - 0,6
Fumaça pesada (muito pó em suspensão muita condensação)	0 - 0,1



Verifique aplicações de sensores fotoelétricos ou óticos em:

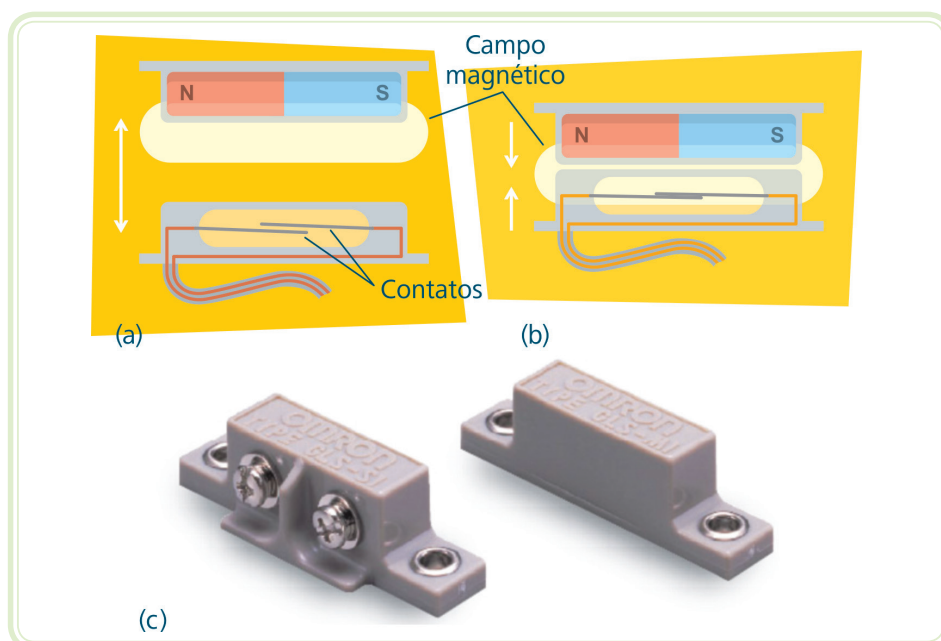
<http://www.automatizesensores.com.br/fotoeletricos.html>

## 2.7 Sensores de proximidade magnéticos

São sensores em que a presença de um ímã, corresponde a uma chave fechada em seus terminais e, na ausência, comporta-se como uma chave desligada. Um exemplo disso é o *reed-switch* mostrado na Figura 2.20.



Veja mais detalhes de como funciona um *reed-switch*:  
<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/51>



**Figura 2.20: Sensor magnético reed-switch: (a) contatos abertos, (b) contatos fechados e (c) exemplo de reed-switch**

Fontes: (a) CTISM

(b) e (c) <http://www.omron-ap.com>

## 2.8 Sensores de proximidade ultrassônicos

Os sensores de proximidade ultrassônicos empregam ondas acústicas com frequência superior a audível e detectam objetos sem necessidade de contato, assim como nos sensores fotoelétricos que empregam a luz infravermelha que é invisível para o ser humano.

### 2.8.1 Princípio de operação

A operação do sensor ultrassônico é baseada na emissão e recepção de ondas acústicas ultrassônicas na faixa de frequência de 30 a 300 kHz, inaudíveis para o ser humano. A detecção de um objeto é realizada quando a onda incide sobre um objeto e é capaz de produzir eco. O tempo de recepção do eco é medido, processado e convertido num sinal elétrico. A repetição dos pulsos ultrassônicos depende do projeto do sensor e fica na faixa de 1 a 100Hz.

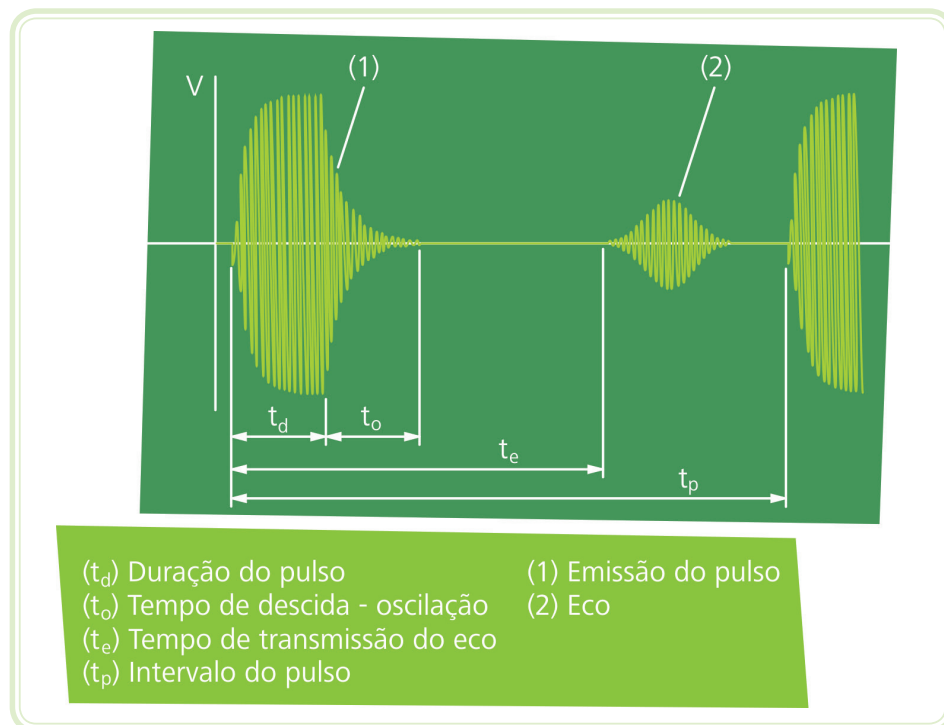
Deve-se ter atenção com a distância mínima do sensor para proporcionar um atraso de tempo, de forma que os ecos sejam reconhecidos. Caso contrário, pode-se entrar na zona cega e o objeto não será detectado. A zona cega depende da frequência de operação do sensor. A Figura 2.21 mostra os pulsos emitidos e os tempos dos pulsos e do eco definidos na mesma.



Verifique algumas aplicações e detalhes de sensores ultrassônicos em: <http://www.automatizesensores.com.br/ultrasonicos.html>



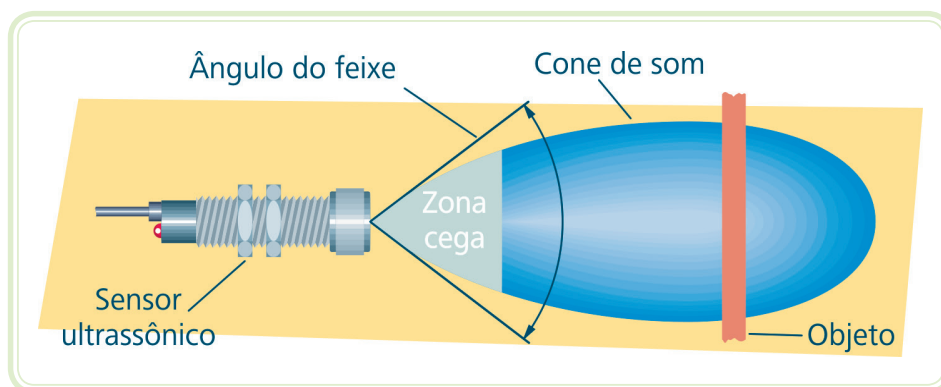
A influência da temperatura faz com que se defina uma distância aparente entre o objeto e o transdutor.



**Figura 2.21: Pulsos sendo emitidos e o eco sendo captado pelo sensor ultrassônico**  
Fonte: CTISM



A Figura 2.22 mostra um sensor ultrassônico, o ângulo de seleção a área de detecção do sensor ultrassônico, o cone de som, o ângulo de detecção e a área de detecção do sensor.



**Figura 2.22: Área de detecção de um sensor ultrassônico**

Fonte: CTISM

Os sensores ultrassônicos apresentam como vantagem a variedade de materiais que são capazes de detectar, pois independe da forma e da cor e se é sólido, líquido ou pó. Nem mesmo atmosferas poluídas por fumaça, poeira ou umidade impedem a detecção. Pode-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. Esses sensores apresentam várias vantagens em relação a sensores fotoelétricos. Esses sensores não podem ser percebidos, o que não ocorre com a luz de sistemas fotoelétricos.

Refletem em muitos objetos e não formam nenhum padrão visível como os sensores fotoelétricos.

As aplicações desses sensores são os sistemas de armazenagem; de transporte; a indústria alimentícia; processos que envolvem metais, vidro e plásticos; e monitoramento de presença de materiais.

Desse modo, pode-se citar as seguintes vantagens dos sensores de proximidade ultrassônicos:

- Detecção sem contato direto.
- Detecção de objetos à distância (até alguns metros).
- Detecção independente da cor.

- Detecção de materiais transparentes.
- Pouca sensibilidade à poeira.
- Aplicações em ambiente externo.

Os sensores ultrassônicos apresentam como desvantagens:

- Difícil detecção se a superfície do objeto a ser detectado apresentar irregularidades na reflexão da onda acústica.
- O sensor ultrassônico é relativamente lento.
- Apresentam um custo maior se comparados aos fotoelétricos.
- Podem ser influenciados pela temperatura.

## 2.8.2 Características técnicas

O Quadro 2.2 mostra resumidamente algumas informações técnicas importantes para sensores ultrassônicos.

Quadro 2.2: Dados técnicos de sensores ultrassônicos de um fabricante	
Parameter	Value
Object material	any, with the exception of sound absorbing materials
Operating voltage	typ. 24 V DC
Nominal switching distance	100 mm - 1m, max. up to 10 m, usually a adjustable
Switching current (transistor output)	100 - 400 mA
Sensitivity to dirt	moderate
Service life	long
Ultrasonic frequency	40 - 200 kHz
Switching frequency	10 - 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

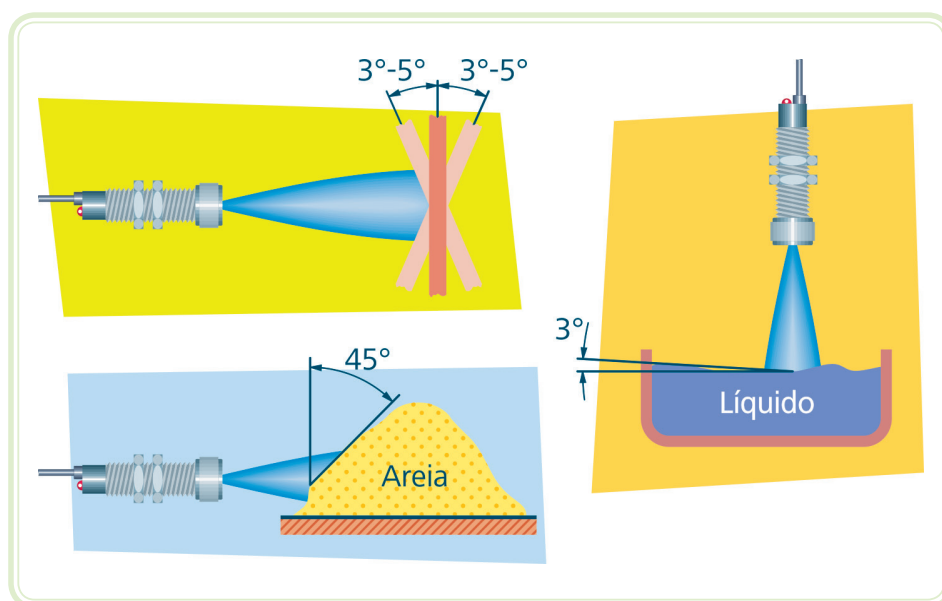
A seguir, são relacionadas algumas observações práticas em relação ao emprego de sensores ultrassônicos considerando:

**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.

**Tipos de objetos** – preferencialmente, o material deve ser sólido, líquido, pulverizado ou granulado. O sensor não é capaz de detectar materiais absorventes de som. Com o emprego de barreiras ultrassônicas, podem ser detectados tecido grosso, algodão, espuma de borracha e lã de rocha. É possível detectar também materiais transparentes, pretos ou reflexivos que, no caso de sensores fotoelétricos, podem causar problemas de detecção.

**Distância mínima do objeto** – o sensor necessita de um tempo mínimo para detectar a onda refletida. Assim, existirá uma zona morta próxima ao sensor que deve ser evitada.

**Posição do objeto** – o ângulo de reflexão passa a ser limitado a uma variação de poucos graus em relação à posição perpendicular ao anteparo conforme mostra a Figura 2.23. A mesma figura mostra também que superfícies irregulares como líquidos e a areia também podem provocar problemas na detecção.



**Figura 2.23: Efeitos da superfície do material para aplicações com sensores ultrassônicos**  
Fonte: CTISM

## 2.9 Cuidados na instalação e operação de sensores

Na instalação e operação dos sensores eletrônicos de proximidade, devem-se observar alguns cuidados conforme é apresentado a seguir e ilustrado na figura 2.24 :

**Cabo de conexão** – evitar que o cabo de conexão do sensor seja submetido a esforços mecânicos.

**Oscilação** – como os sensores são impregnados de resina, pode-se empregá-los em máquinas e equipamentos com movimentos, porém deve-se fixar o cabo junto ao sensor com braçadeiras ou suporte com parafuso.

**Suporte de fixação** – evitar que o sensor sofra impactos com outras partes ou peças e que seja utilizado como apoio.

**Partes móveis** – ao instalá-los, observar a distância sensora e sua posição para evitar impactos com o acionador.

**Porcas de fixação** – evitar o aperto excessivo das porcas.

**Produtos químicos** – nas instalações em ambientes agressivos, especificar o sensor mais adequado para a aplicação.

**Condições ambientais** – evitar submetê-los a temperaturas de operação acima do seu limite.

A não observação desses itens pode provocar o mau funcionamento e até mesmo um dano permanente ao sensor.

Cada tipo de sensor tem características específicas que determinam cuidados diferentes listados a seguir:

**Sensores capacitivos** – são influenciados pela densidade do meio onde o sensor está instalado. A poeira, a umidade e o acúmulo de detritos próximos ao sensor devem ser observados, devendo-se redobrar os cuidados nesse caso. O potenciômetro de ajuste de sensibilidade do sensor capacitivo deve ser precisamente calibrado e lacrado pelo parafuso de proteção.

**Sensores fotoelétricos** – são sujeitos à poeira e umidade, portanto, devem-se limpar os espelhos e lentes periodicamente. Embora o grau de pro-

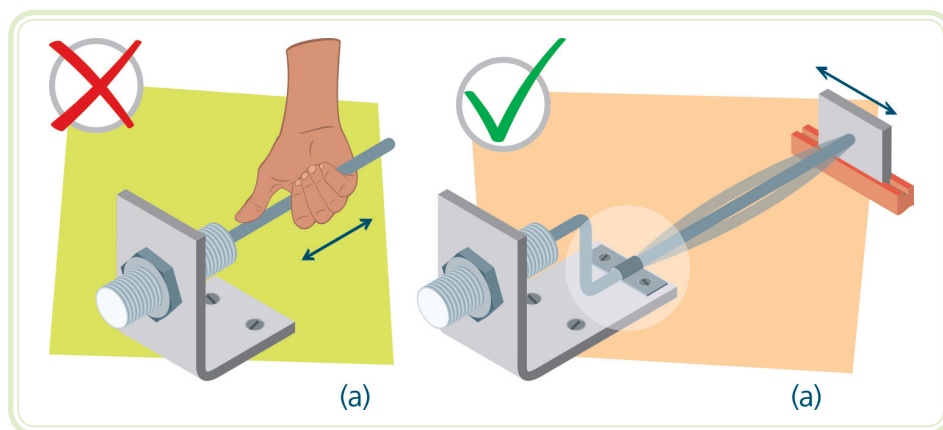
teção dos sensores óticos permita respingos de água, deve-se evitar acúmulo de líquidos junto a lentes, pois pode provocar um acionamento falso.

**Sensores de CC** – utilizados para acionar altas cargas indutivas podem danificar permanentemente o estágio de saída dos sensores sem proteção contra curto-circuito, além de gerar altos picos de tensão na fonte.

**Fontes de alimentação não reguladas** – não se devem empregar sensores de proximidade e circuitos de acionamento com altas cargas indutivas ligadas à mesma fonte.

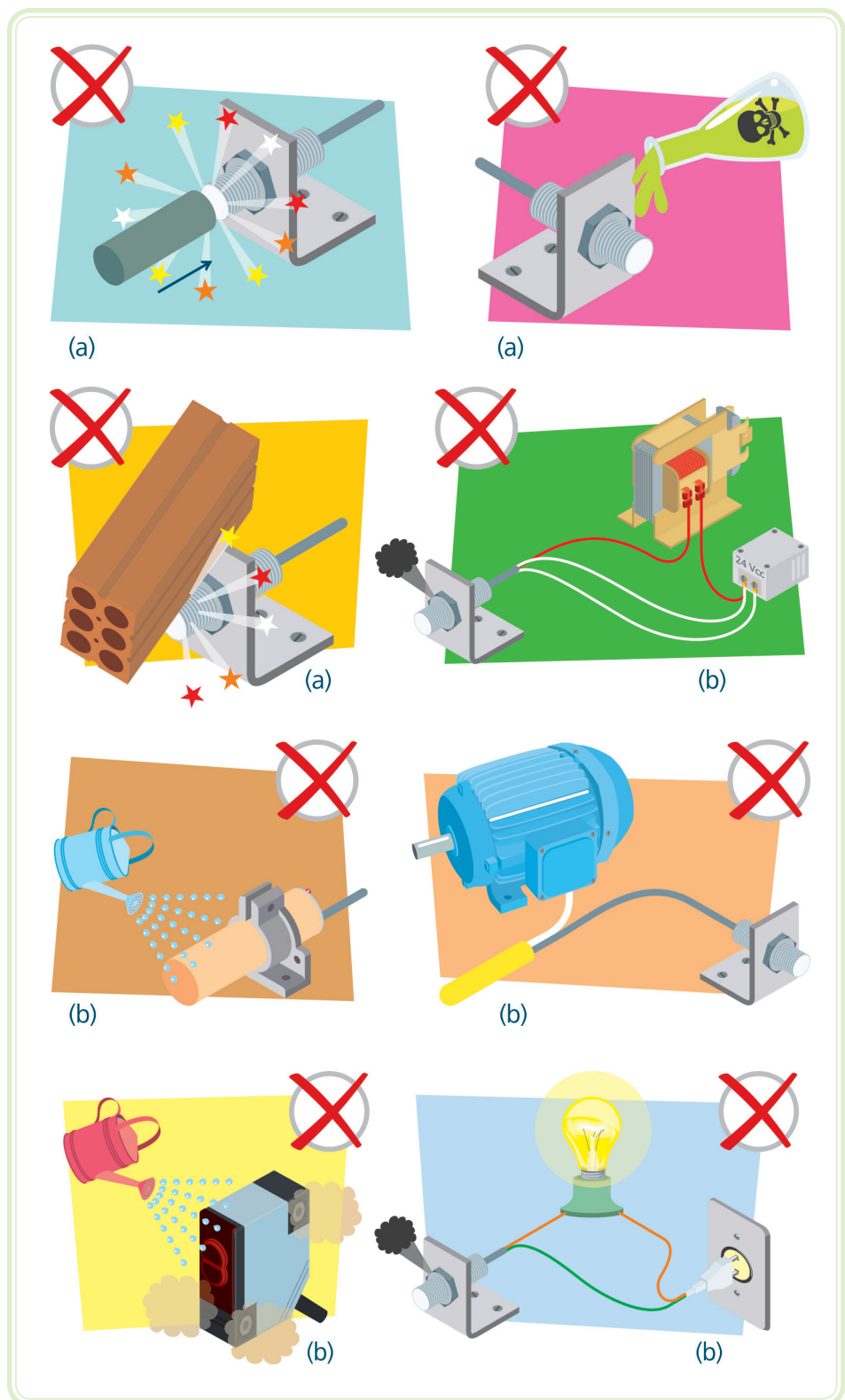
**Cablagem** – deve ser realizada conforme as recomendações das normas técnicas. Os cabos de sensores de proximidade, instrumentos de medição e controle não devem utilizar os mesmos eletrodutos de circuitos de acionamento.

**Sensores de CA** – não se devem utilizar lâmpadas incandescentes, pois a resistência do filamento, quando frio, provoca alta corrente que pode danificar o sensor. As cargas indutivas, tais como contatores, relés, solenóides devem ser bem especificadas, pois tanto correntes de chaveamento como de surto podem danificar o sensor. Os cabos dos sensores devem preferencialmente utilizar canaletas e eletrodutos separados dos elementos de potência, evitando a indução de correntes parasitas. As figura 2.24 (a) e (b) ilustram os principais erros cometidos na operação e instalação de sensores discretos, respectivamente.



**Figura 2.24** parte 1: Mal uso dos sensores: (a) condições inadequadas de operação, (b) condições inadequadas de instalação

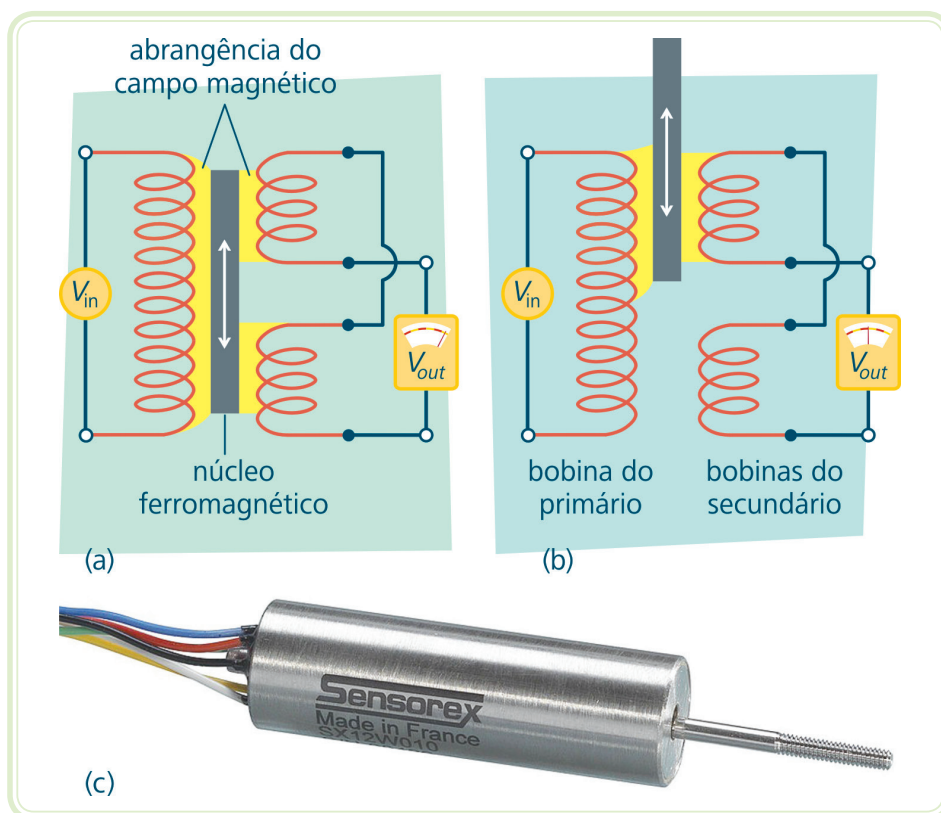
Fonte: CTISM



**Figura 2.24<sub>parte 2</sub>: Mal uso dos sensores: (a) condições inadequadas de operação, (b) condições inadequadas de instalação**  
 Fonte: CTISM

## 2.10 Transformador linear diferencial variável (LVDT)

A Figura 2.25(a) mostra o esquema básico de um LVDT, o qual consiste num conjunto de núcleo magnético variável com três bobinas que formam um transformador. Uma das bobinas é o primário, as demais compõem o secundário que modificam a tensão de saída do transformador, à medida que o núcleo desliza a fim de identificar um deslocamento através da tensão produzida na saída. A Figura 2.25(b) ao contrário da anterior, mostra um deslocamento inferior através do valor da tensão em  $V_{out}$  pois a tensão produzida na bobina do secundário do transformador é menor devido ao núcleo estar presente somente numa das bobinas. A Figura 2.25(c) mostra uma foto de um LVDT.



**Figura 2.25: Transformador linear diferencial variável LVDT: (a) deslocamento completo  $V_{out}$ , (b) deslocamento parcial  $0,5 V_{out}$  e (c) exemplo de LVDT**

Fontes: (a) e (b) CTISM

(c) <http://www.directindustry.es>

Os sensores LVDT apresentam a possibilidade de medir deslocamentos, com alcances típicos de 100  $\mu\text{m}$  a 25 cm e sensibilidade de 100mV/cm a 40 mV/ $\mu\text{m}$ .

São vantagens do LVDT o custo relativamente baixo, dispositivos sólidos e robustos que apresentam grande vida útil.



Ver fotos, animações e informações adicionais sobre o LVDT:

<http://www.rdpe.com/ex/hiw-lvdt.htm>

<http://www.metrolog.net/transdutores/lvdt/ap.php>

Uma das principais desvantagens do LVDT é o núcleo estar obrigatoriamente em contato com a superfície para medir o deslocamento.

O LVDT é aplicado em deslocamentos, deflexão de vigas, variação de espessuras de peças, nível de fluido (posição de cilindros hidráulicos) e em velocidade de aceleração (suspensão automotiva). O LVDT é usado também em posicionadores de precisão como em máquinas, ferramentas, CNC e robôs industriais.

## 2.11 Transformador rotacional diferencial variável (RVDT)

O RVDT é um sensor eletromecânico que proporciona uma saída de tensão CA proporcional ao deslocamento angular. A Figura 2.26(a) mostra o esquema básico que ilustra o princípio de funcionamento do RVDT, o qual varia os valores de tensão de saída  $V_{out}$  em função da posição do rotor. A Figura 2.26(b) mostra também um exemplo de RVDT.

Verifique informações sobre RVDT em:  
<http://www.metrolog.net/transdutores/rvdt/r36as.php>

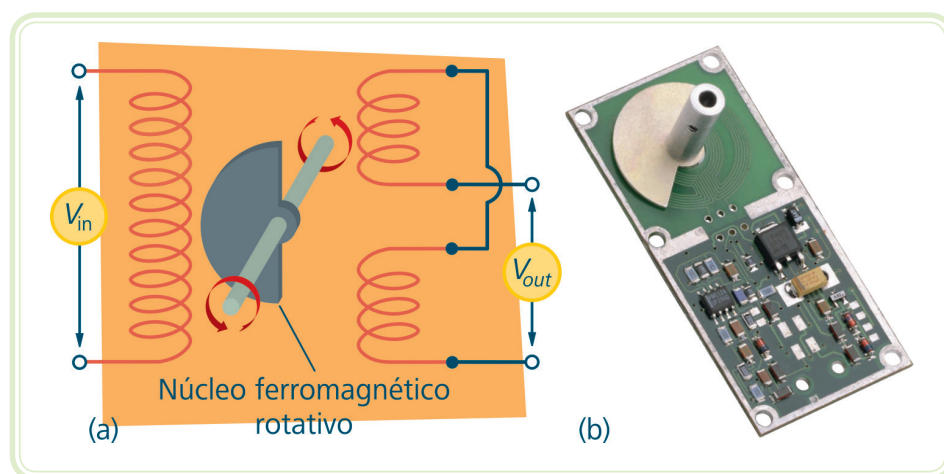


Figura 2.26: Transformador rotacional diferencial variável RVDT: (a) funcionamento e (b) exemplo de um RVDT

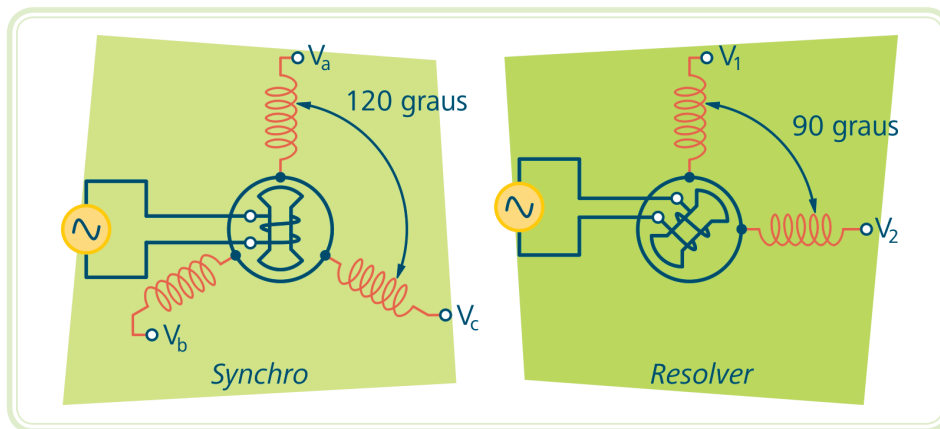
Fontes: (a) CTISM  
(b) <http://www.yorkinstrument.com>

Verifique definições e particularidades de *syncros* e *resolvers* em:  
[http://openbookproject.net/electriccircuits/ac/ac\\_13.html#02494.png](http://openbookproject.net/electriccircuits/ac/ac_13.html#02494.png)  
<http://www.moog.com/literature/mcg/synchrobook.pdf>

## 2.12 Synchros e resolvers

São empregados para obter posições angulares e informações de rotações precisas. A Figura 2.27 mostra diagramas típicos de um *synchro* e de um *resolver*. Tanto *synchros* como *resolvers* empregam um enrolamento único no rotor que envolve um estator.





**Figura 2.27: Diagrama esquemático: (a) *synchro* e (b) *resolver***

Fonte: CTISM

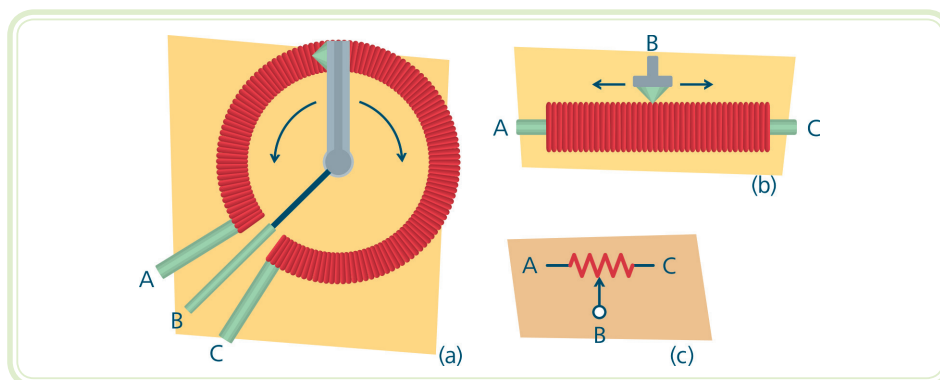
O *synchro* tem três enrolamentos distribuídos em 120° e são conectados em Y. O *resolver* apresenta dois enrolamentos posicionados a 90°. Os *synchros* apresentam maior custo devido a maior dificuldade de construção, razão pela qual tem sido reduzido sua aplicação na indústria. Os *resolvers* modernos têm sido fabricados sem escovas, de forma que empregam um transformador para acoplar o sinal do estator para o rotor. O enrolamento primário do transformador fica no estator, e o secundário no rotor. Outros *resolvers* usam as tradicionais escovas ou anéis deslizantes para acoplar o sinal ao enrolamento do rotor, porém apresentam maior manutenção. A maioria dos *resolvers* são especificados para tensões de 2 a 40  $V_{RMS}$  e frequências de 400 Hz até 10 kHz.

## 2.13 Sensores potenciométricos

O deslocamento linear ou angular pode ser determinado através da variação da resistência de um potenciômetro, conforme a configuração de sensor mostrado nas Figuras 2.28(a) e (b). A Figura 2.28(c) mostra o símbolo representativo dos potenciômetros apresentados.



Veja os detalhes dos diversos sensores potenciométricos:  
[http://www.novotechnik.com/novotechnik\\_products/linear\\_potentiometric.html](http://www.novotechnik.com/novotechnik_products/linear_potentiometric.html)



**Figura 2.28: Sensor potenciométrico: (a) rotacional, (b) linear e (c) simbologia**

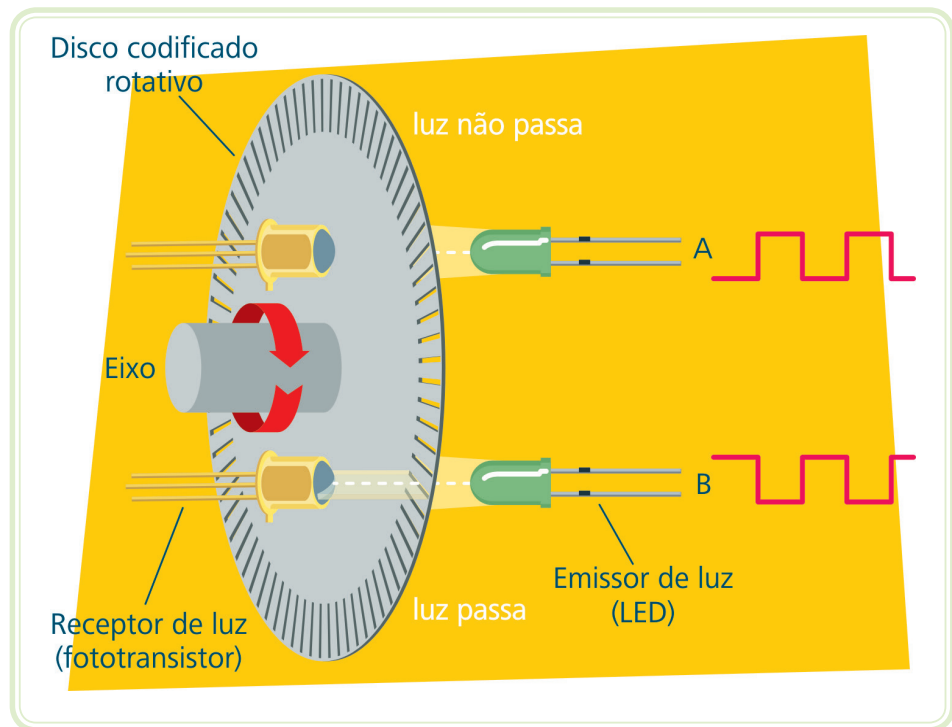
Fonte: CTISM

## 2.14 Encoders

### 2.14.1 Encoders óticos rotativos

Encoders são dispositivos que convertem deslocamento angular em pulsos. Produzem uma saída discreta, sem necessidade de um conversor A/D. A Figura 2.29 ilustra o emprego do emissor de luz (LED) e do receptor (fototransistor).

Encoders óticos rotativos consistem de um diodo emissor de luz (LED), um disco, e de um detector de luz (fototransistor) no lado oposto ao disco. O disco fica montado no eixo e tem perfurações regulares, as quais são repetidas continuamente formando segmentos codificados no disco com recepção ou não do sinal. À medida que o disco gira, os segmentos bloqueiam ou permitem a passagem de luz. Isso gera pulsos de onda quadrada que podem ser interpretados como informação de velocidade e de posição.



**Figura 2.29: Funcionamento do encoder ótico rotativo**

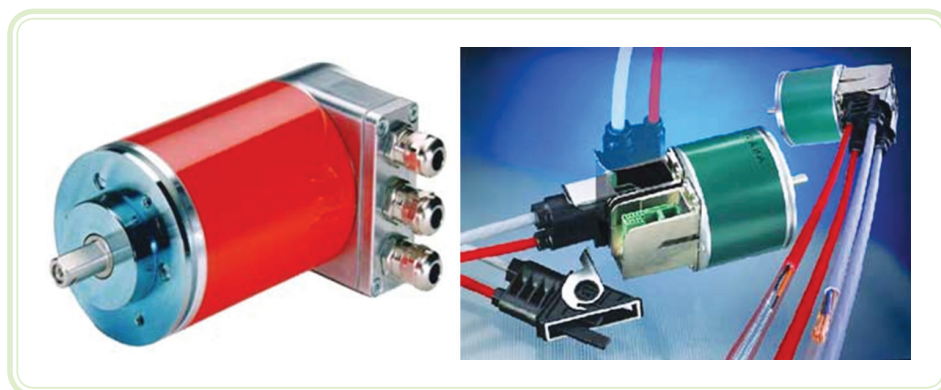
Fonte: CTISM



Em encoders incrementais a defasagem de 90 graus entre os sinais possibilita determinar não apenas os incrementos, mas ainda o sentido da rotação.

Existem encoders do tipo incremental e absoluto. Os sensores incrementais medem o deslocamento somente em relação ao ponto de partida. Encoders absolutos medem o deslocamento em relação a um ponto de referência interno fixo.

Encoder incremental – nesse tipo de encoder a posição é demarcada por contagem de pulsos transmitidos acumulados ao longo do tempo. O encoder emprega trem de pulsos gerados como informação de posição. O número de segmentos determina a resolução do movimento e, conseqüentemente, a precisão da posição. Um encoder típico gera dois canais de informação (canais A e B), além de um pulso a cada giro completo e que é a referência zero ou simplesmente Z. Esses dois canais estão defasados entre si em 90 graus, para que se tenha uma maior precisão na resolução do sistema. Nos canais A e B a geração da quantidade de pulsos por volta varia de 50 a 5000 pulsos, conforme a aplicação. A Figura 2.30 mostra a foto de encoders óticos.

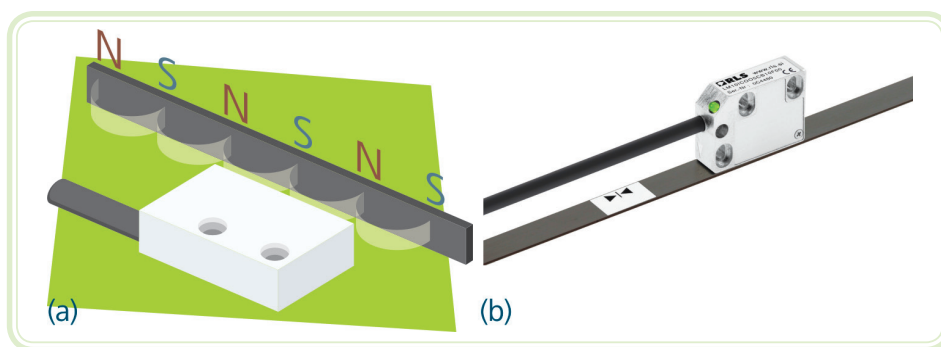


**Figura 2.30: Exemplos de encoders ótico rotativos incrementais**

Fonte: Instrumentação Eletrônica – UFRN

## 2.14.2 Encoders lineares

Consistem de réguas (escalas) de aço inoxidável, de tamanhos variados, montadas num perfil de alumínio com borrachas de vedação para proteger cabeças sensoras conforme ilustra a Figura 2.31(a). Esses transdutores são hermeticamente selados; resistentes a choque e vibração; suportam altas taxas de deslocamento. O mais comum é o encoder linear do tipo magnético. A Figura 2.31(b) mostra a foto de um encoder do tipo linear.



**Figura 2.31: Encoder linear magnético: (a) princípio de funcionamento e (b) exemplo**

Fontes: (a) CTISM

(b) [www.renishaw.com](http://www.renishaw.com)



Em encoders lineares um sensor magnético é guiado através de uma fita magnética sem entrar em contato com esta. A distância entre o sensor e a faixa magnética pode ser de até 2mm. Resoluções até 0,005mm são possíveis, a precisão da repetitividade é muito alta.

A seguir são destacadas algumas considerações sobre a instalação de encoders:

- O encoder tem sua resolução definida na velocidade de seu eixo e frequência de pulsos.
- Não se deve aplicar forças radiais ou axiais no eixo além da que foi especificada pelo fabricante.
- Utilizar cabo blindado com malha para transmissão de sinais e evitar fontes de ruídos.
- O desalinhamento do dispositivo deve ser o menor possível e nunca maior do que a tolerância fornecida pelo fabricante.

## Resumo

Ao finalizarmos o estudo de seleção de sensores, podem observar a grande variedade de sensores e os vários parâmetros que devem ser considerados na sua seleção, aplicação e instalação. Sendo assim, deve-se recorrer, sempre que possível, ao manual ou folha de dados dos sensores, para que se conheçam todas as informações necessárias para instalá-los ou selecioná-los. A leitura das folhas de dados fornecerá informações mais precisas de características que podem ajudar a evitar futuros problemas ou o mau funcionamento dos sensores, assim como selecionar cada um deles para respectiva aplicação.



## Atividades de aprendizagem

1. Como são classificados sensores considerando o tipo de sinal a ser controlado?
2. O que são sensores contínuos?
3. O que são sensores discretos?
4. O que são distâncias sensora nominal e operacional?
5. O que é alvo padrão?

6. O que é histerese? Faça um esquema para explicá-la.
7. Quais são os tipos de saídas de sensores a transistores?
8. O que é o ajuste de sensibilidade de sensores capacitivos e como procedê-lo?
9. O transistor pode acionar qualquer carga? Explique.
10. Quais são as características dos objetos empregados com sensor de proximidade indutivo?
11. Quais são as características dos objetos empregados com sensor de proximidade capacitivo?
12. O que significa fator de redução, isto é, para que serve?
13. Como funcionam os sensores ultrassônicos?
14. Quais as vantagens dos sensores ultrassônicos?
15. O que é um sensor LVDT? Como funciona?
16. O que é o sensor RVDT?
17. Para que servem resolvers e syncros?
18. O que são encoders? Quais são os principais tipos?
19. Quais os cuidados que devem ser considerados na instalação de sensores de proximidade?
20. Quais frequências são normalmente empregadas em ultrassom?
21. Que cuidados devem ser observados na aplicação de sensores ultrassônicos?
22. Quais são as principais configurações de sensores fotoelétricos e suas características?

**23.** Assinalar V ou F.

- ( ) Um sensor discreto interpreta a existência ou não de grandezas, portanto permanece desligado ou ligado.
- ( ) Um transdutor converte uma grandeza elétrica em outra.
- ( ) Um sensor é denominado transdutor quando converte uma grandeza em outra.
- ( ) Os sensores podem ser impregnados de resina quando empregados em máquinas rotativas, porém devem ser fixados juntos ao cabo.
- ( ) Os sensores fotoelétricos são sujeitos à poeira e umidade, portanto, devem-se limpar os espelhos e lentes periodicamente.
- ( ) Sensores ópticos permitem respingos d'água, porém isso não implica acionamento falso.
- ( ) Os cabos de sensores de proximidade, instrumentos de medição e controle podem utilizar os mesmos eletrodutos de cabos de circuito de força.
- ( ) Os sensores capacitivos de proximidade são ideais para detectar materiais orgânicos.
- ( ) Os sensores indutivos de proximidade são ideais para detectar materiais de natureza metálica.
- ( ) As tensões típicas de sensores com alimentação de corrente contínua é de 10 V a 30 V de CC.
- ( ) Sensores eletromecânicos em geral necessitam de contato físico com o alvo.
- ( ) Sensores eletrônicos apresentam velocidade de resposta maior que sensores eletromecânicos.
- ( ) Sensores eletromecânicos apresentam vida útil de seus contatos ilimitada.

# Aula 3 – Medida de temperatura

## Objetivos

Identificar os sensores de temperatura, conforme aplicações.

Identificar características e aplicação dos sensores.

Selecionar e especificar os sensores.

## 3.1 Importância dos sensores de temperatura

A variável temperatura é empregada em vários setores da indústria. Desse modo, serão apresentadas as principais formas de medida da mesma, os principais sensores e transmissores.

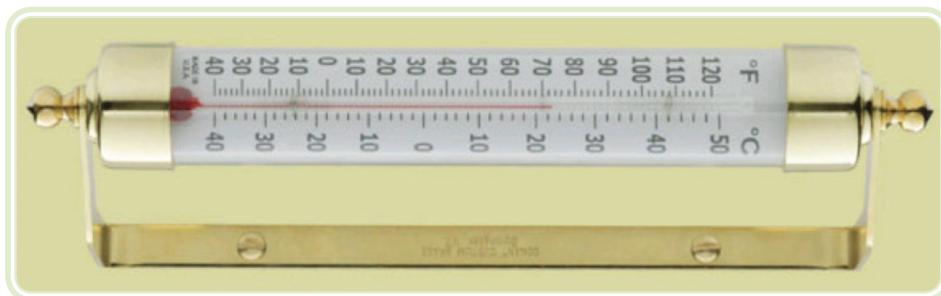
## 3.2 Termômetros à dilatação de líquidos em recipiente de vidro

Apresentam um reservatório, cujas dimensões determinam a sensibilidade desejada. É preenchido por líquidos: mercúrio, álcool, tolueno ou acetona. Quando se utiliza mercúrio, podem ser empregados até 550°C, desde que se adicione gás inerte sob pressão a fim de evitar a vaporização do Mercúrio. O líquido é inserido num tubo capilar uniforme, fechado na parte superior. Após a calibração, a parede do tubo é graduada em graus ou frações (Figura 3.1). Nos termômetros industriais o bulbo de vidro é protegido por um poço metálico e o tubo capilar por um invólucro metálico.



Veja fotos de vários termômetros em:

[http://www.zurichpt.com.br/?pagina=produtos2.php&categoria\\_id=24&categoria\\_nome=Term%F4metros+Industriais](http://www.zurichpt.com.br/?pagina=produtos2.php&categoria_id=24&categoria_nome=Term%F4metros+Industriais)



**Figura 3.1: Exemplo de um termômetro de vidro**

Fonte: [www.rejuvenation.com](http://www.rejuvenation.com)

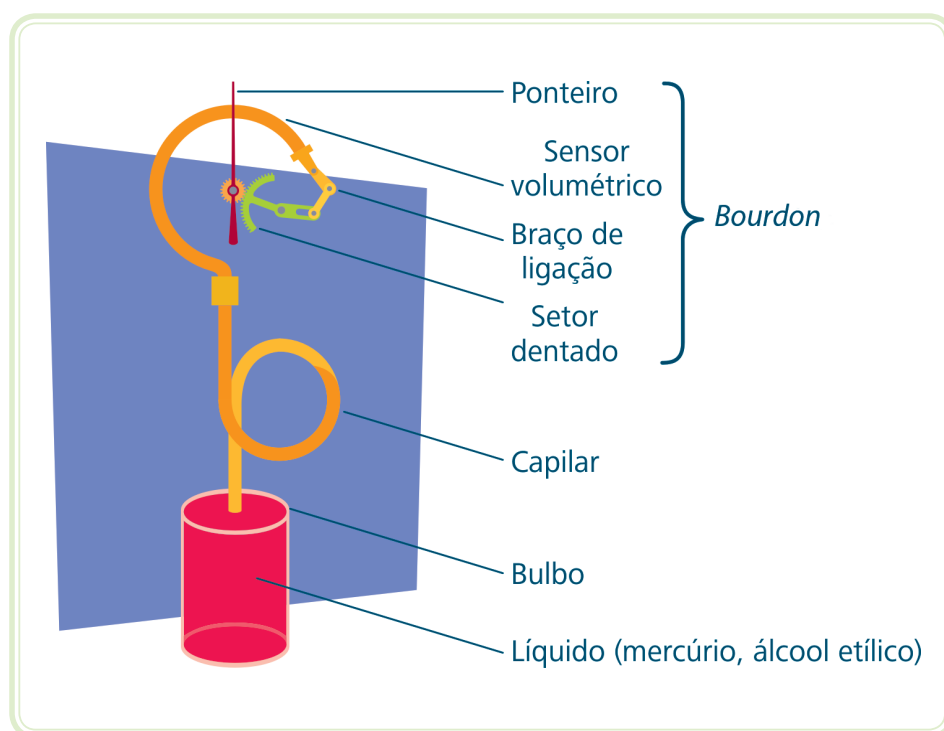
### 3.3 Termômetro à dilatação de líquido em recipiente metálico

No termômetro de dilatação de líquidos o tubo capilar apresenta o menor diâmetro possível e evita a influência da temperatura externa.



Faixa de temperatura empregada conforme o tipo de líquido utilizado:  
Mercúrio: -35 a +550°C  
Tolueno -80 a +100°C  
Álcool: 50 a +150°C

Nesse tipo de termômetro o líquido preenche todo o recipiente, e pelo efeito do aumento da temperatura o líquido dilata-se. A temperatura é medida com sensor de volume através de um elemento que se estende pela expansão do líquido. A Figura 3.2 ilustra bem essa situação. O termômetro consiste de um bulbo capilar e de elemento de medição. O bulbo varia suas dimensões conforme o tipo de líquido empregado e a sensibilidade desejada. O mercúrio apresenta grande diferença entre ponto de ebulição e solidificação de forma que pode ser empregado em faixa bem ampla de temperatura, o que o torna um dos elementos mais utilizados. O elemento de medição mais empregado na indústria para registro e indicação é o tubo de Bourdon. No entanto, não são recomendáveis para controle, pois apresentam respostas lentas.



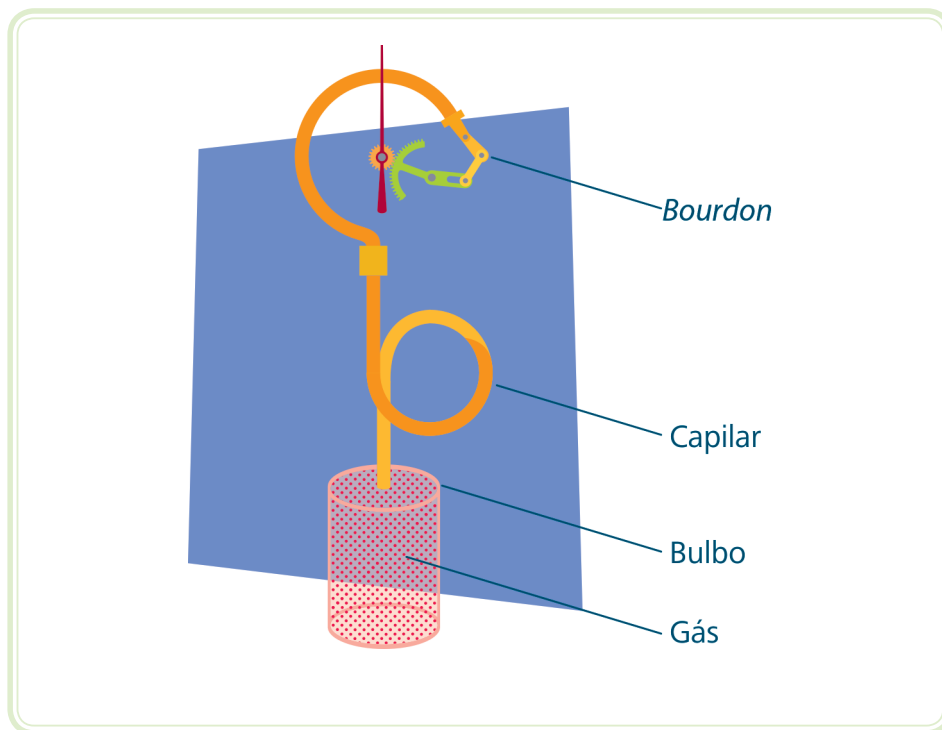
**Figura 3.2: Termômetro à dilatação de líquidos**

Fonte: CTISM



### 3.4 Termômetros à pressão de gás

É idêntico ao termômetro de líquido, porém preenchido com gás em alta pressão. A Figura 3.3 mostra o esquema desse termômetro composto pelos elementos sensor e bulbo, interligados através do capilar. Ao variar a temperatura, o gás varia a pressão e o elemento de medição atua como medidor de pressão por sua dependência linear com a temperatura, sendo o volume constante. O gás mais empregado é o  $N_2$ , na faixa de temperatura entre  $-100$  a  $600^\circ\text{C}$ , com o limite inferior limitado pela temperatura crítica.



**Figura 3.3: Termômetro à pressão de gás**

Fonte: CTISM

### 3.5 Termômetro bimetálico

Consiste de lâminas de coeficiente de dilatação linear diferente, as quais são unidas a fim de proporcionar um movimento resultante. Ao variar a temperatura, as lâminas apresentarão uma curvatura proporcional que pode ser empregada para indicar temperatura. Os termômetros bimetálicos podem ser enrolados em espiral ou hélice. O termômetro mais empregado é o de lâmina helicoidal, que consiste de um tubo ligado por um eixo e um ponteiro conectado na parte superior que indica a temperatura. A faixa de trabalho desses termômetros é de  $-50^\circ$  a  $800^\circ\text{C}$ , sendo sua escala bastante linear e apresenta precisão de  $\pm 1\%$ . A Figura 3.4(a), (b) e (c) mostram o



Veja foto e detalhes de um termômetro à pressão de gás.  
<http://www.armatherm.de/Thermometers-gas-filled.84.0.html>



Tipo de gás empregados em termômetros à pressão de gás e as respectivas temperaturas críticas:

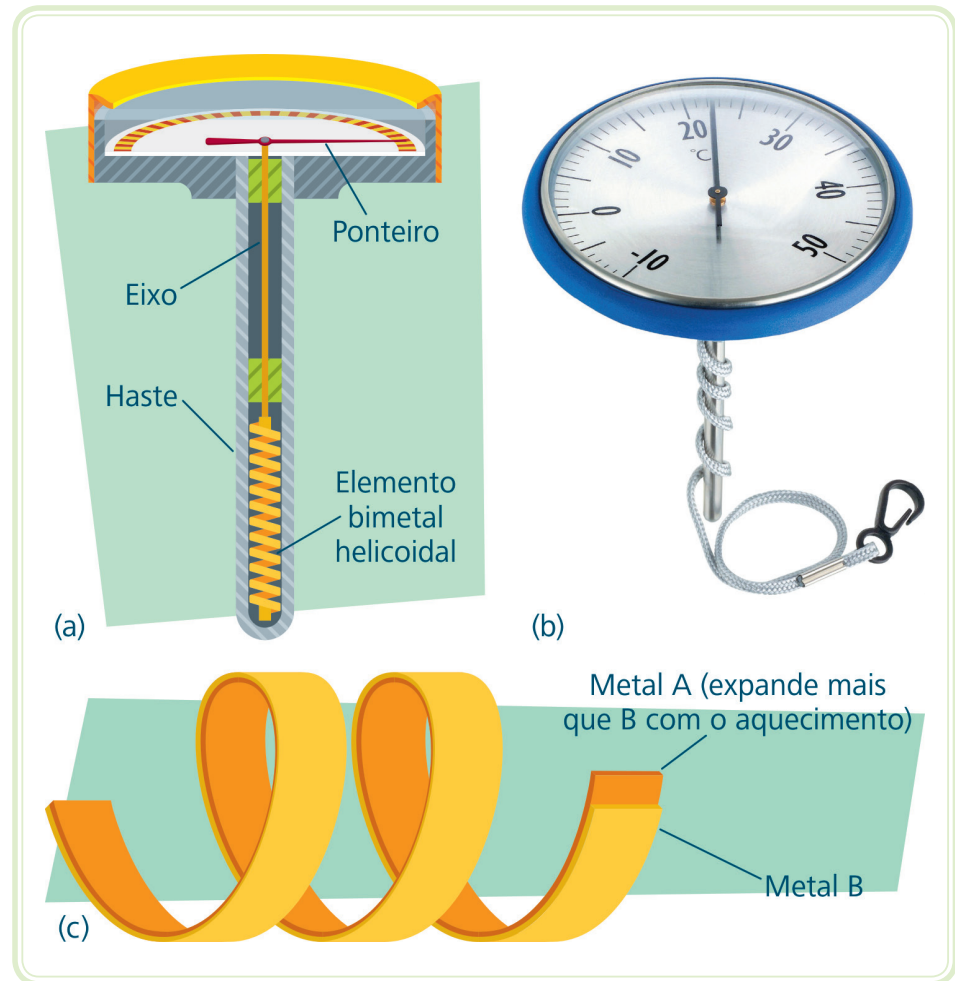
Hélio (He):  $-267,8^\circ\text{C}$   
Hidrogênio ( $H_2$ ):  $-239,9^\circ\text{C}$   
Nitrogênio ( $N_2$ ):  $-147,1^\circ\text{C}$



Veja fotos de termômetros bimetálicos em:  
<http://www.cvvapor.com.br/?controle=produtos&idCategoria=9>

Observe os detalhes sobre os termômetros bimetálicos:  
<http://www.armatherm.de/Bimetal-dial-thermometers-v.65.0.html>

cut, a photo and details of the helical bimetal element of bimetallic thermometers, respectively.



**Figura 3.4: Termômetro bimetalico: (a) corte, (b) exemplo e (c) detalhe do elemento bimetal helicoidal**

Fontes: (a) e (c) CTISM

(b) [www.almacenesarenal.com](http://www.almacenesarenal.com)

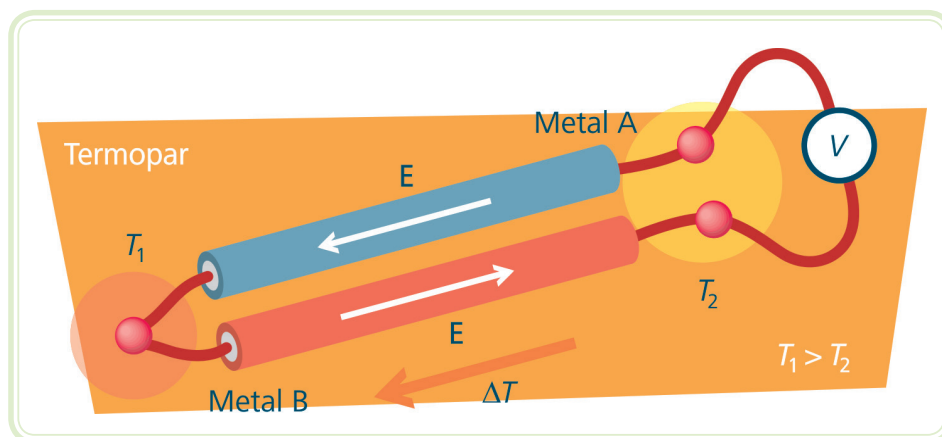
## 3.6 Termopares

Para entender o funcionamento de termopares é importante conhecer os efeitos termoelétricos. Quatro efeitos conhecidos ocorrem quando junções de materiais distintos são mantidas a temperaturas diferentes entre a junção de medição e a outra extremidade: o efeito *Seebeck*, o efeito *Peltier*, o efeito *Thomson* e o efeito *Volta*. Destacam-se a seguir, os efeitos de *Seebeck* e *Peltier*.

### Efeito termoelétrico de *Seebeck*

Dois condutores ferro (Fe) e cobre (Cu) quando estão submetidos a tempera-

turas diferentes na JR (junta de referência) e JM (junta de medição) surge uma fem nas suas extremidades, representado pelo voltímetro  $V$  na Figura 3.5.



**Figura 3.5: Temperatura  $T_1 > T_2$  e a fem  $V$  gerada no termopar**

Fonte: CTISM

Isso se deve ao comportamento de elétrons livres ser diferente de um material para outro, e dependentes da temperatura. Desse modo, a difusão dos elétrons se dá de forma diferente e surge uma fem. Quando a temperatura da JR é mantida constante, a fem térmica depende diretamente da temperatura  $T_1$  da JM.

A relação entre temperatura e fem gerada de um termopar depende dos tipos de termoelementos que a compõem. Uma grandeza conhecida é a potência termoelétrica ou coeficiente de *Seebeck*. A unidade desse coeficiente é  $\text{mV}/^\circ\text{C}$ , e essa informação se refere a sensibilidade do termopar.

No entanto, a fem tem origem em dois fenômenos separados: o Efeito *Peltier* e o Efeito *Thomson*.

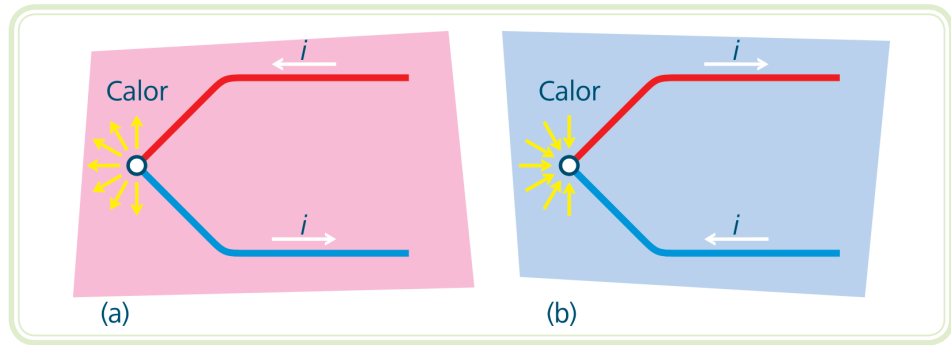
### Efeito termoelétrico de *Peltier*

Quando uma corrente elétrica  $i$  flui na junção entre dois metais diferentes, calor é gerado ou absorvido nesse local em quantidade proporcional à corrente. O circuito (ver Figura 3.6) poderá gerar ou absorver calor, dependendo do sentido da corrente. Portanto, poderá ser gerado a fem, tanto no aquecimento, como no resfriamento da junção, porém com sentidos opostos de condução conforme pode ser observado na Figura 3.6(a) e (b).

Um exemplo de aplicação do efeito *Peltier* é a refrigeração termoelétrica.



Verifique mais detalhes sobre termopares e leis termoelétricas em:  
<http://www.salcas.com.br/catalogo/2-Temperatura.pdf>



**Figura 3.6: Efeito Peltier: (a) calor gerado, (b) calor absorvido**

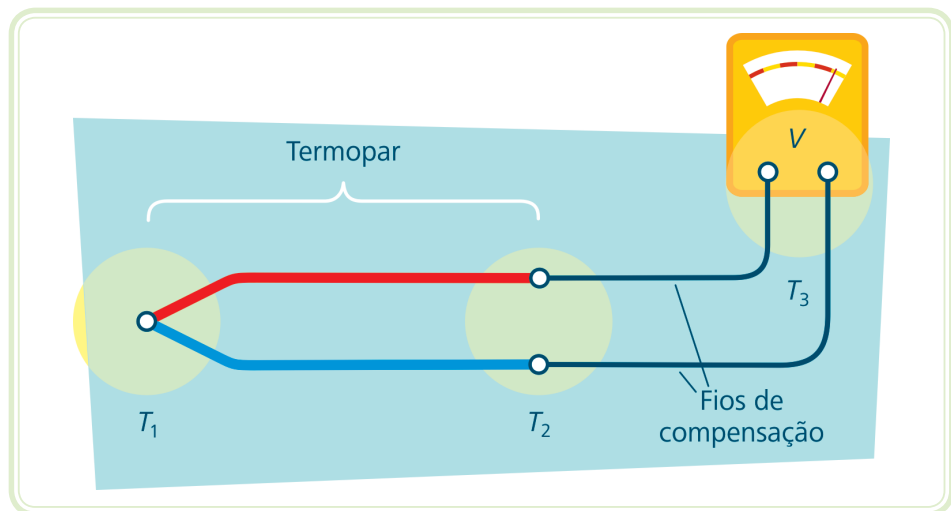
Fonte: CTISM



Veja fotos de termopares em:  
<http://www.magasbr.com.br/imagens/termopar-orbis.jpg>

### 3.6.1 Princípio de funcionamento do termopar

A Figura 3.7 mostra o esquema básico de um termopar que consiste de dois metais, ou ligas, diferentes, unidos por uma junção soldada, chamada de junta quente ou de medição (JM). As extremidades dos fios, chamadas de junta fria ou de referência (JR), são levadas a um medidor de fem, formando um circuito elétrico. Ao ser submetido a uma temperatura diferente da outra extremidade, o termopar produz uma tensão proporcional à variação de temperatura em seus terminais.



**Figura 3.7: Esquema básico de emprego do termopar**

Fonte: CTISM



Veja exemplos de fios e cabos de  
 extensão e compensação:  
[http://www.ecil.com.br/pt/ti/produtos/fios\\_cabos\\_isolacao\\_mineral/fios\\_cabos.pdf](http://www.ecil.com.br/pt/ti/produtos/fios_cabos_isolacao_mineral/fios_cabos.pdf)

### 3.6.2 Fios de compensação e extensão

Em aplicações industriais, o instrumento de medida e o termopar, geralmente estão afastados. Dessa forma, podem ocorrer erros de leitura devidos a longa conexão entre a JR e JM. Desse modo, é necessário que o termopar seja ligado com fios capazes de compensar essa distância. Assim, são adap-

tados fios de compensação, os quais têm, praticamente, as mesmas características dos fios do termopar, porém com menor custo.

Os fios ou cabos de compensação que são fabricados com ligas diferentes dos termopares a que se destinam, apresentam uma curva de fem x temperatura equivalente aos dos termopares. Ex: Tipo SX e BX.

Os fios de extensão ou cabos de extensão são fabricados com as mesmas ligas dos termopares a que se destinam. Ex: Tipo TX, JX. Esses apresentam custo inferior, pois são limitados a uma temperatura ambiente máxima de 200°C.

A maioria dos instrumentos utilizados para medir a temperatura geralmente faz a sua correção automática.

### 3.6.3 Classificação dos termopares

Existem várias combinações de condutores para obter termopares com características que atendam às aplicações industriais mais simples, de uso especial ou restrito. Cada tipo de termopar corresponde a uma aplicação que envolve o tipo de ambiente e faixa de temperatura em que o mesmo será empregado. Assim, os termopares são divididos em três grupos: o tipo básico, o tipo nobre e o tipo especial, detalhados a seguir.

#### a) Termopares do tipo básico

Podem ser empregados em atmosferas inertes, oxidantes ou redutoras. Acima de 300°C, a oxidação do cobre provoca desvios em sua resposta original.

Ex. Termopar tipo T (Cobre-Constantan).

#### b) Termopares do tipo nobre

São chamados nobres por usar a platina como elemento básico. Podem ser empregados em atmosferas inertes, oxidantes ou redutoras a altas temperaturas. Apresentam estabilidade ao longo do tempo, para altas temperaturas. Os termolementos não devem ficar expostos a atmosferas redutoras ou vapores metálicos. Não devem ser inseridos diretamente em tubos de proteção metálica, mas sim em tubo de proteção cerâmica denominada 799. Para temperaturas acima de 1500°C, utiliza-se tubo de platina. Abaixo de zero grau não se recomenda utilizá-lo por apresentar instabilidade na resposta.

Ex: Termopar tipo S (Platina-Ródio/PtRh 10%).



O termopar tipo T, o termo elemento positivo (TP) é composto de Cobre(Cu). A composição do termo elemento negativo (TN) é de 55% de Cu e 45% de Níquel. A faixa de emprego desse termopar compreende -270 a 400°C com fem produzida de -6,258 mV a 20,872 mV.



No termopar do tipo S, o TP é composto por 90% de Platina(Pt) e 10% de Ródio, enquanto TN é composto de 100% de Pt. A faixa de utilização é de -50 a 1768°C com fem produzida entre -0,236 mV a 19,693 mV.



Consultar tabelas de fem versus temperatura para os diversos tipos de termopares em:  
<http://www.fsid.cvut.cz/cz/u12110/tem/senzory/typk.pdf>

### c) Termopares do tipo especial

São termopares específicos desenvolvidos para atender a aplicações restritas.

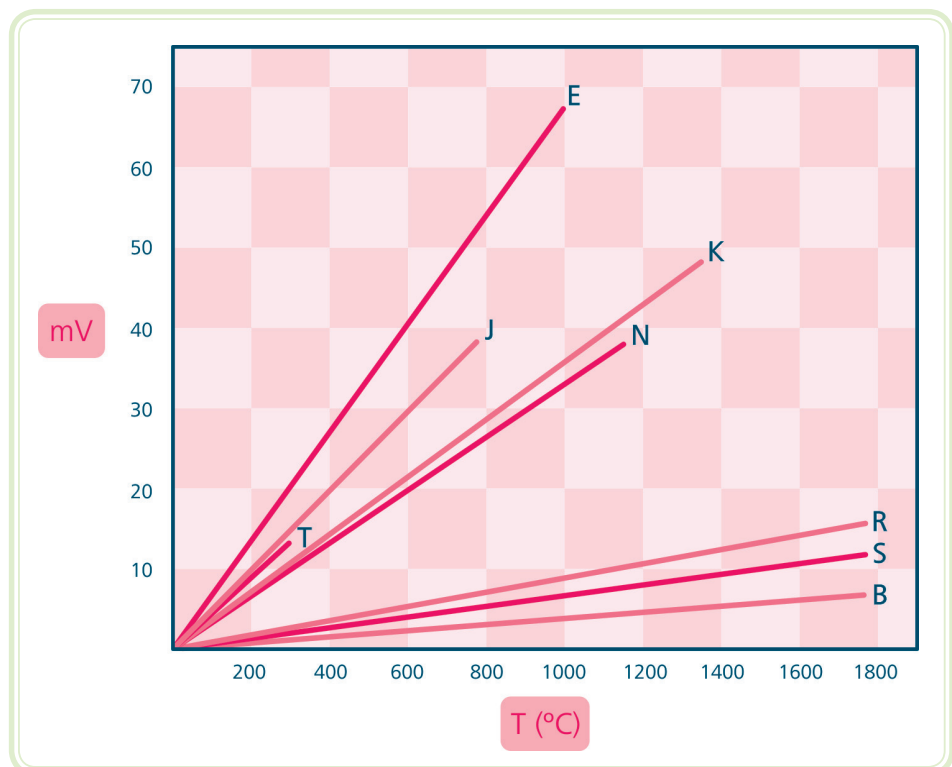
Ex: Termopar com liga (Tungstênio-Rhênio)



O termopar com liga de Tungstênio-Rhênio pode ser usado continuamente até 2300°C e por curto período até 2750°C.

### 3.6.4 Correlação da fem em função da temperatura

O termopar apresenta uma correlação de fem em função da temperatura. A partir de tabelas definidas na norma ANSI, pode-se plotar curvas de diversos termopares, nas quais são relacionadas as grandezas de tensão gerada (fem) e a temperatura, com a junta de referência do termopar mantida a 0°C. A Figura 3.8 mostra essa correlação para vários termopares.



**Figura 3.8: Correlação (fem x temperatura) de termopares com a junta de referência a 0°C**  
Fonte: CTISM

As tabelas definidas em norma para termopares são obtidas mantendo a junta de referência a 0°C. No entanto, na prática, a JR normalmente encontra-se na temperatura ambiente, podendo sofrer variação de temperatura. Desse modo, é necessário fazer uma correção da JR, a qual poderá ser manual ou automática.

### 3.6.5 Associação de termopares

Dois ou mais termopares podem ser associados mediante necessidade de obter adição, subtração ou média aritmética de temperatura, conforme a configuração de associação dos mesmos. Termopares conectados em série funcionam como pilhas ou fontes em série, ou seja, tem a fem nos terminais somadas. Por outro lado, se for invertida a polaridade, tem-se a subtração das tensões nos seus terminais. A configuração paralela de termopares ligados a um mesmo instrumento de medição permite que se obtenha a média aritmética das tensões desde que a resistência interna dos termopares seja a mesma.



Ver exemplos de associação série e paralela de termopares, fem produzida, entre outros assuntos envolvendo termopares em:  
<http://www.edtec.com.br/termopares.htm>

## 3.7 Montagem de termopares

São várias as configurações de termopares que podem ser especificadas e fornecidas, cada uma adequada à sua explicação específica. São configurações básicas de termopares:

- Termopar convencional;
- Termopar com isolamento mineral.

**Termopar convencional** – a junta metálica do termopar pode ser exposta ao meio ou protegida. Os termolementos são acomodados em isoladores cerâmicos, usualmente denominados missangas, as quais apresentam alta condutividade térmica e também alta resistência de isolamento.

- A proteção dos termolementos fornecem ao sensor maior vida útil e repetitividade;
- Da mesma forma que os termoresistores, um elemento de grande condução térmica é colocado entre o invólucro e os termolementos.

**Termopar isolamento mineral** – é constituído de um ou dois pares termoelétricos, envolvidos por um pó isolante de óxido de magnésio, altamente compactado em uma bainha externa metálica. Devido a esta construção, os condutores do par termoelétrico ficam totalmente protegidos contra a atmosfera exterior. Consequentemente, a durabilidade do termopar depende da resistência à corrosão da sua bainha e não da resistência à corrosão dos condutores. Em função dessa característica, a escolha do material da bainha é fator importante na especificação dos condutores.



Verifique erros de ligação de termopares, exemplos numéricos de associação de termopares nos diferentes tipos de associação:  
<http://www.salcas.com.br/catalogo/2-Temperatura.pdf>



Verifique detalhes de termopares do tipo convencional e de isolamento mineral em:  
<http://www.alutal.com.br/industria/produtos/termopar/index.asp>

Observe as diversas formas de construção de termopares em:  
[http://www.markare.com.br/sensores\\_temperatura\\_tc\\_po%e7o.html](http://www.markare.com.br/sensores_temperatura_tc_po%e7o.html)



Verifique detalhes de RTDs em:

<http://www.alutal.com.br/industria/produtos/termopar/termorresistencias.asp>

[http://www.markare.com.br/sensores\\_temperatura\\_pt-100\\_baionetas.html](http://www.markare.com.br/sensores_temperatura_pt-100_baionetas.html)

Os termopares com isolamento mineral apresentam vantagens relacionadas aos materiais empregados, tais como: estabilidade da tensão, resistência mecânica, dimensão reduzida, impermeabilidade à água, óleo e gás, facilidade de instalação, resposta rápida, resistência à corrosão, resistência de isolamento elevada e blindagem eletrostática. As desvantagens consistem no custo superior, deterioração com maior facilidade, excesso na temperatura máxima de utilização que é limitada a 630°C.

### 3.8 Termorresistências (RTD)

Um dispositivo de medida de temperatura resistivo, RTD, é um resistor que muda seu valor de resistência em função da temperatura, geralmente um metal, de custo menor, robusto e alta faixa de temperatura (-180 a 600°C). Geralmente tem se empregado a platina, devido sua linearidade e estabilidade.

Os principais metais empregados são ligas compostas por Níquel ou Platina com várias faixas de medida e de custo. O Pt100, Pt1000, Ni100 e Ni1000 são exemplos de termorresistências. Um tipo bastante difundido de RTD é o Pt100. O Pt100 tem resistência elétrica de 100  $\Omega$  a temperatura de 0°C.



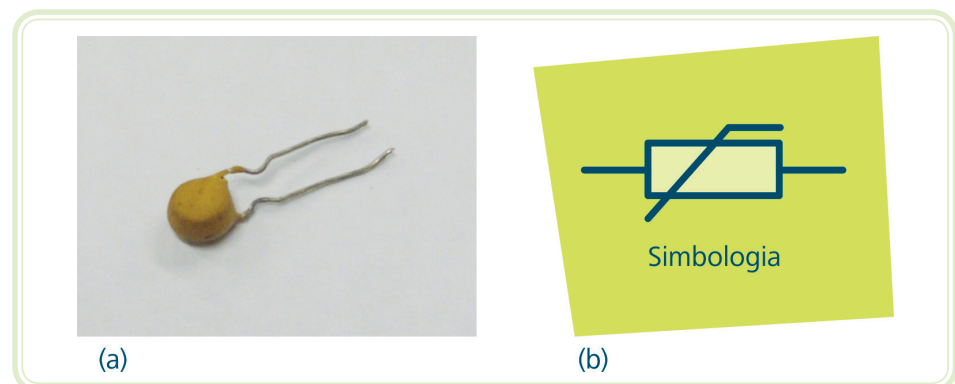
Veja princípio de medição de 2, 3 e 4 fios com ponte de Wheatstone com RTDs:

<http://www.edtec.com.br/termoresistencias.html>

Circuitos eletrônicos ou em ponte de *Weathstone* são usados para determinar a resistência dos RTDs. Esses podem apresentar 2, 3 ou 4 fios, sendo mais empregado 3 fios.

### 3.9 Termistores

São semicondutores que variam a resistência em função da temperatura. São fabricados com óxido de níquel, cobalto, magnésio, sulfeto de ferro, alumínio ou cobre.



**Figura 3.9: Termistor: (a) exemplo e (b) simbologia**

Fonte: CTISM



Apresentam como característica baixo custo e sensibilidade. São restritos a temperaturas menores que 300°C. O tipo mais comum é o NTC (*Negative Temperature Coefficient*), que se caracteriza por reduzir a resistência à medida que a temperatura aumenta, ou seja, um coeficiente de variação da temperatura negativo. No PTC (*Positive Temperature Coefficient*) o aumento da temperatura faz com que sua resistência aumente, tem custo maior e por isso apresentam-se em menor variedade comercialmente. (Ver Figura 3.9)



Observe aplicações de NTC e PTC em:

[http://www.ufrgs.br/eng04030/Aulas/teoria/cap\\_03/sensores.htm](http://www.ufrgs.br/eng04030/Aulas/teoria/cap_03/sensores.htm)

### 3.10 Circuitos integrados (CI)

Os parâmetros elétricos de semicondutores variam com a temperatura. Desse modo, pode-se construir sensores com auxílio de outros elementos de forma linear, porém com limitação de temperatura devido à sensibilidade do semicondutor à temperatura. O sensor CI LM35 apresenta, além da linearidade, um baixo custo.



Acesse as folhas de dados e aplicações do CI LM35:

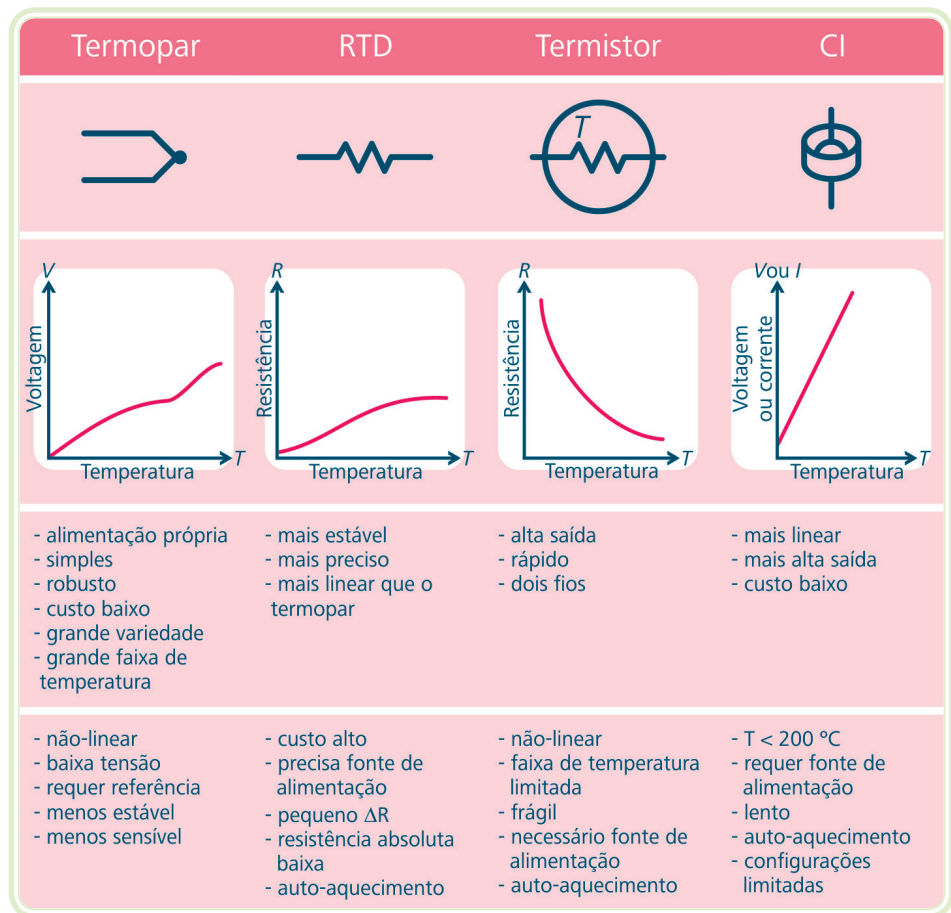
<http://www.national.com/mpf/LM/LM35.html#Overview>

Veja mais sobre transmissores de temperatura em:

[http://www.thermomax.com.br/produtos/view?id\\_produto=20](http://www.thermomax.com.br/produtos/view?id_produto=20)

### 3.11 Comparações entre sensores de temperatura

A seguir é apresentado um quadro comparativo entre alguns sensores destacados nessa aula.



**Figura 3.10: Comparativo entre os principais sensores de temperatura**

Fonte: CTISM

## Resumo

A variedade de sensores empregados para medir a temperatura ou controlar processos que dependem de temperatura é bastante grande. A seleção de um ou outro tipo de sensor depende das características e da importância do processo, pois diferentes sensores determinam diferentes custos. A qualidade e o tipo do sensor empregado dependem da aplicação ao qual se destina e o rigor das medidas/controlado desejado. O quadro apresentado na última página dessa aula resume bem qual o tipo de sensor que deve ser aplicado em medida/controlado que envolve a grandeza temperatura.



## Atividades de aprendizagem

1. Por que o tubo de *Bourdon* é aplicado para medida/registro e não para controle de temperatura?
2. Como funcionam termômetros bimetálicos?

3. O que são termopares?
4. Para que serve o fio de compensação e extensão?
5. O que é efeito termoelétrico de *Seebeck*?
6. O que é efeito termoelétrico de *Peltier*?
7. Pesquisar na *Web* o que é efeito termoelétrico de *Thomson*?
8. Pesquisar na *Web* o que é o efeito termoelétrico de *Volta*?
9. Como pode ser obtida a temperatura média entre dois pontos com termopares?
10. Como pode ser obtida a soma da temperatura entre dois pontos utilizando termopares?
11. Quais são os principais tipos de termopares?
12. Pesquise folha de dados considerando um termopar de cada tipo.
13. Que tipos de erros são comuns ao empregar termopares?
14. O que são termorresistências?
15. O que são termistores?
16. Pesquise a folha de dados do CI LM35 e observe seus dados e possíveis aplicações, segundo o fabricante.
17. Qual sensor você empregaria se fosse necessário utilizá-lo para temperatura em torno de 100°C, sendo necessário ainda uma ótima linearidade de resposta?
18. O que é um NTC? Citar exemplos de aplicação.
19. O que é um PTC? Citar exemplos de aplicação.

- 20. Que tipo de termopar você empregaria se fosse necessária grande durabilidade, resistência à corrosão e temperatura na faixa de 500°C?
- 21. O que é um Pt100?
- 22. Em que aplicações é empregado o Pt100?

# Aula 4 – Medida de pressão

## Objetivos

Conhecer o princípio de funcionamento dos medidores de pressão.

Conhecer as características dos sensores de pressão.

Conhecer e selecionar sensores e transmissores de pressão.

## 4.1 Importância da medida de pressão

A medida de pressão é uma das medidas mais importantes, pois outras medidas podem ser realizadas a partir dela. Nessa aula serão apresentados elementos que constituem os sensores de pressão.



Ver definições importantes sobre medidas de pressão em:  
<http://www.demec.ufmg.br/Grupos/Gamset/Labbio/tmcf05.pdf>

## 4.2 Dispositivos de medida de pressão

O instrumento para medir pressão é o manômetro, e pode ter vários elementos sensíveis utilizados por transmissores e controladores. A seguir são apresentados os principais elementos.

## 4.3 Coluna de líquido

O deslocamento de um líquido em função da pressão, aplicada numa das extremidades de um tubo contendo líquido, pode ser empregado para medi-la, sendo empregado manômetro de tubo em “U”, de tubo inclinado e de reservatório conforme pode ser observado através da Figura 4.1.

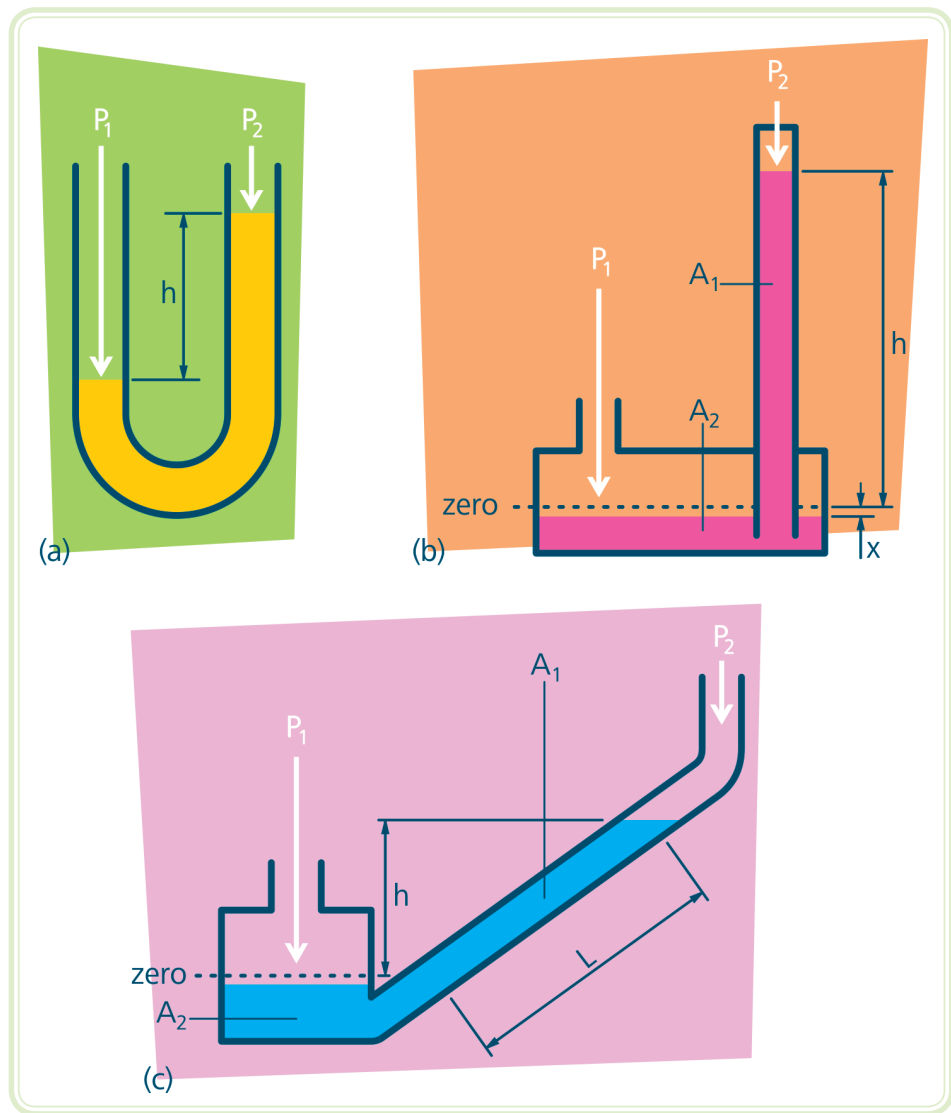


Ver fotos e definições de diversos tipos de manômetros correspondentes à ilustração da Figura 4.1 nas páginas 9-11 do arquivo em:  
<http://www.dca.ufrn.br/~acari/sistemas%20de%20medida/slides%20INSTRUMENTACAO%20PRESSAO.pdf>

Ver fotos de um tubo de Bourdon no mesmo arquivo, nas páginas 16-40.



A equação simplificada da pressão diferencial é  $\Delta P = h \times \delta$  sendo  $\Delta P$  = pressão diferencial ( $\text{kg/m}^2$ ),  $h$  = diferença de altura em metros (m) e  $\delta$  o peso específico em  $\text{kg/m}^3$ . Para o manômetro inclinado deve ser considerado o ângulo de inclinação em relação à horizontal.



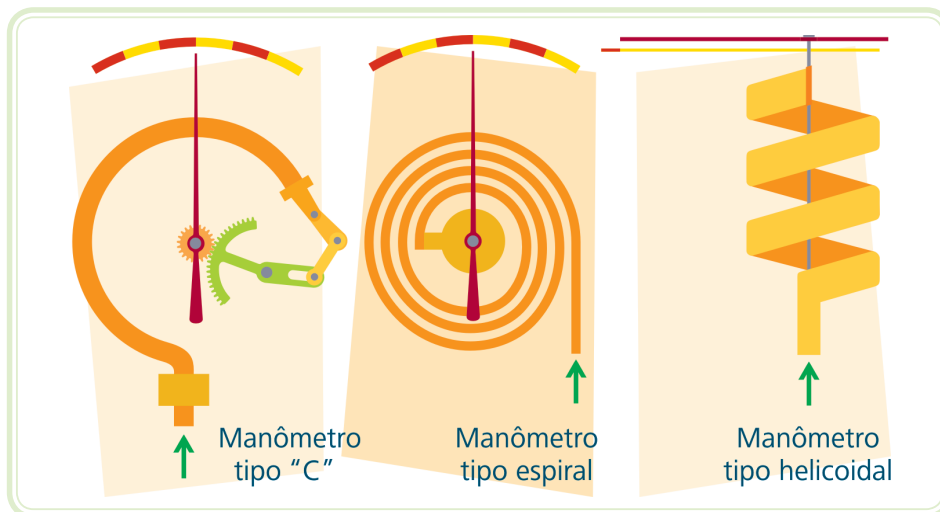
**Figura 4.1: Elementos com base em coluna de líquido: (a) manômetro em U, (b) manômetro tipo reservatório e (c) manômetro inclinado**

Fonte: CTISM

## 4.4 Manômetro tubo de Bourdon

Consiste em transformar a pressão de um líquido em deslocamento a fim de fornecer um sinal elétrico proporcional à pressão.

A Figura 4.2 mostra detalhes de diferentes tipos de tubo de *Bourdon*. Ele pode ser em C, helicoidal ou em espiral. Com a pressão na entrada a ser medida agindo em seu interior, o tubo tende a ter um formato circular com movimento na extremidade fechada. Esse movimento pode ser transmitido a uma escala graduada de pressão através de um ponteiro.

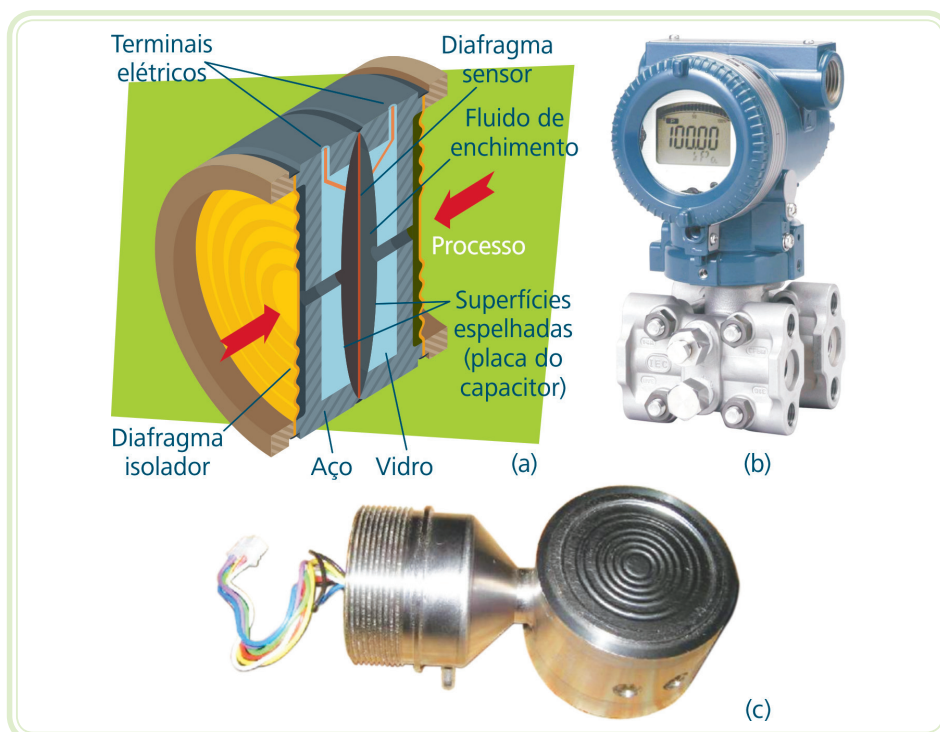


**Figura 4.2: Principais tipos de tubos Bourdon**

Fonte: CTISM

## 4.5 Sensores de pressão capacitivos

A Figura 4.3(a) mostra os detalhes construtivos de um sensor de pressão capacitivo. A armadura móvel, ao sofrer uma variação de pressão, altera o valor da capacitância. Isso pode ser medido através de um circuito eletrônico, o qual gera um sinal proporcional à pressão aplicada.



**Figura 4.3: Sensor capacitivo de pressão: (a) funcionamento, (b) exemplo de um transmissor com sensor capacitivo de pressão e (c) detalhe do diafragma sensor**

Fontes: (a) CTISM

(b) <http://www.yokogawa.com.br>

(c) <http://instrumentacao.net>



Verifique as características do transmissor de pressão apresentado na Figura 4.3 em [http://vikacontrols.com.br/pdfs/pressao\\_e\\_temp.pdf](http://vikacontrols.com.br/pdfs/pressao_e_temp.pdf).

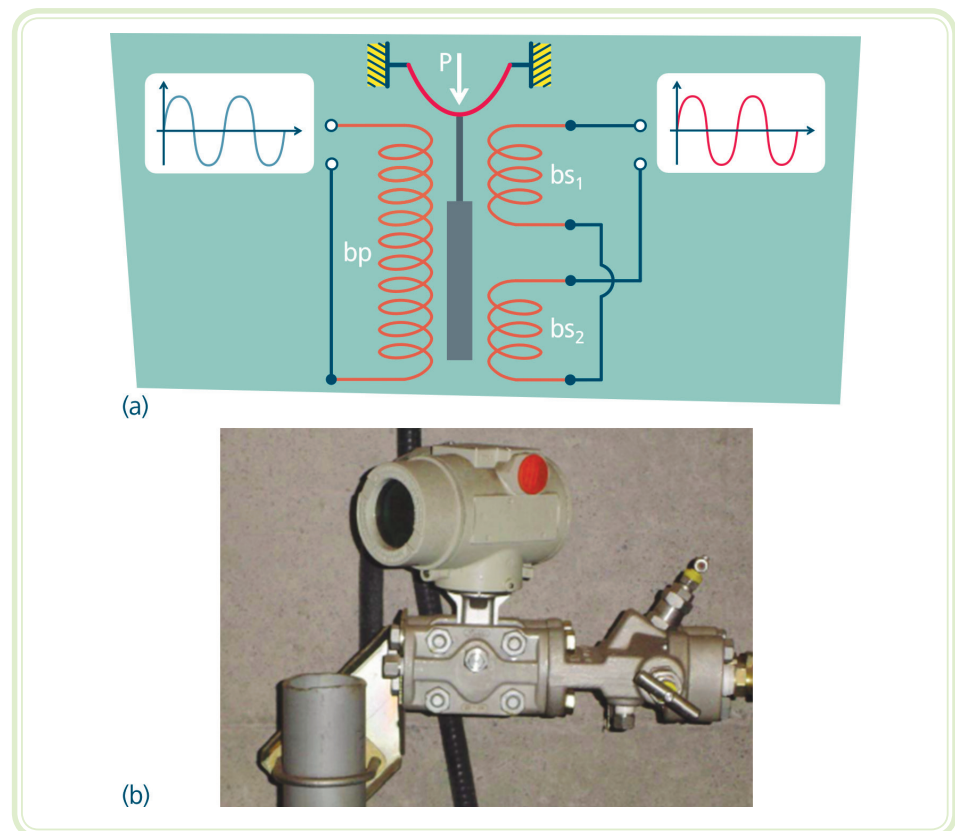
Veja mais detalhes sobre transdutores de pressão em: [http://www.mspc.eng.br/fldetc/press\\_120.shtml](http://www.mspc.eng.br/fldetc/press_120.shtml)

A Figura 4.3(b) mostra a foto de um transmissor eletrônico de pressão capacitivo e a Figura 4.3(c) mostra o detalhe de um diafragma sensor. O emprego desse tipo de sensor elimina os problemas de sistemas com alavancas que formam os sistemas tradicionais, pois se baseia na deformação das armaduras do capacitor, porém ficam sujeitos às condições de temperatura do processo.

## 4.6 Sensores de pressão indutivos

O tipo de transdutor de pressão mais empregado é o transformador diferencial variável (LDVT) mostrado na Figura 4.4(a). O Movimento associado à pressão exercida sobre o LVDT faz com que o núcleo ferromagnético do LVDT se movimente proporcionando uma tensão de saída proporcional à pressão aplicada, permitindo que esse dispositivo seja utilizado como um transmissor. Esses sensores podem medir faixa de pressão bem ampla. No entanto, são sensíveis a vibrações e campos magnéticos.

A Figura 4.4(b) mostra uma foto de um transmissor eletrônico de pressão.



**Figura 4.4: Medida de pressão: (a) empregando o LDVT e (b) transmissor indutivo de pressão instalado**

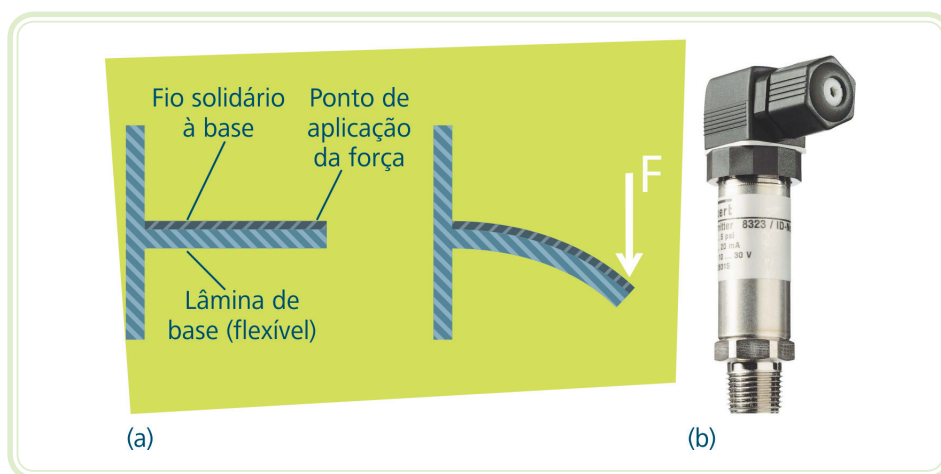
Fontes: (a) CTISM

(b) [www.dca.ufrn.br](http://www.dca.ufrn.br)



## 4.7 Sensor de pressão piezorresistivo

Utiliza o *strain gauge*, muito empregado nas chamadas células de cargas empregadas sob condições de flexão, cisalhamento e compressão dependendo da aplicação. A Figura 4.5(a) mostra uma situação em que o *strain gauge* sofre um processo de flexão. Uma das extremidades da lâmina é fixada num ponto de apoio rígido, enquanto a outra é o ponto de aplicação da força. Ao inserir uma pressão no *strain gauge*, a lâmina sofre deformação proveniente da força aplicada que, como consequência, provoca a variação da resistência. A Figura 4.5(b) mostra um transmissor de pressão de uso geral que transforma a saída em sinais elétricos analógicos de 4-20mA.



**Figura 4.5: Sensor piezorresistivo para medir pressão: (a) funcionamento simplificado de uso do *strain gauge* e (b) transmissor eletrônico piezorresistivo**

Fontes: (a) CTISM

(b) [www.ferret.com.au](http://www.ferret.com.au)



Verifique detalhes sobre os transmissores de pressão piezorresistivo em:

<http://www.dca.ufrn.br/~acari/sistemas%20de%20medida/slides%20instrumentacao%20pressao.pdf>

<http://www.inotech.ind.br/downloads/transmissor%20industrial.pdf>

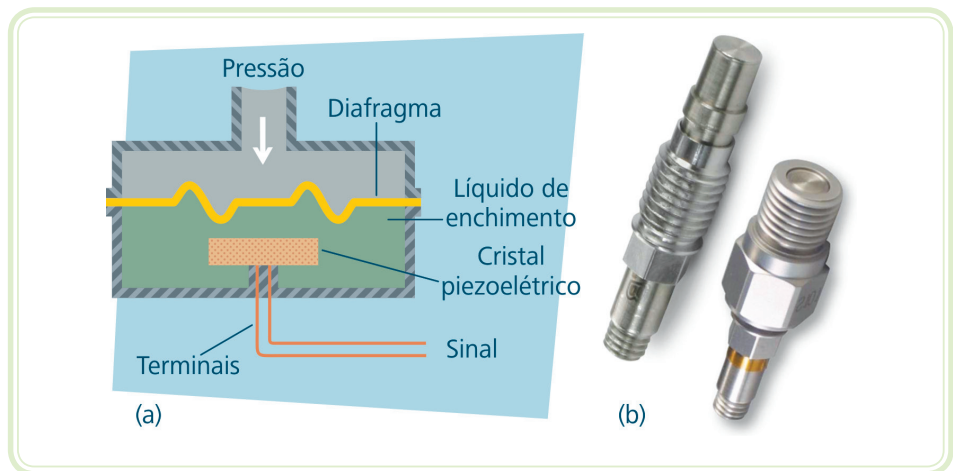
## 4.8 Sensor de pressão piezoelétrico

São pequenos e de construção robusta, bastante estável e exata. O sinal de resposta é linear com a pressão e pode ser em alta frequência. Podem medir pressões de 1 mbar até mais de 10 kbar. A Figura 4.6(a) mostra o esquema básico do sensor piezoelétrico. A Figura 4.6(b) mostra uma foto de um sensor de pressão piezoelétrico.



Veja detalhes sobre um sensor de pressão piezoelétrico empregado para medir pressão em máquinas injetoras de plástico:

[http://www.panambra.com/produtos.asp?fili\\_codigo=4&sel\\_fili\\_codigo=4&func=dept&departamento=transdutores%20para%20injetoras%20de%20pl%e1stico%20\(press%e3o/temperatura\)&dept\\_codigo=4\\_30](http://www.panambra.com/produtos.asp?fili_codigo=4&sel_fili_codigo=4&func=dept&departamento=transdutores%20para%20injetoras%20de%20pl%e1stico%20(press%e3o/temperatura)&dept_codigo=4_30)



**Figura 4.6: Medida de pressão: (a) com sensor piezoelétrico e (b) transmissor de pressão piezoelétrico**

Fontes: (a) CTISM

(b) [www.sae.org](http://www.sae.org)

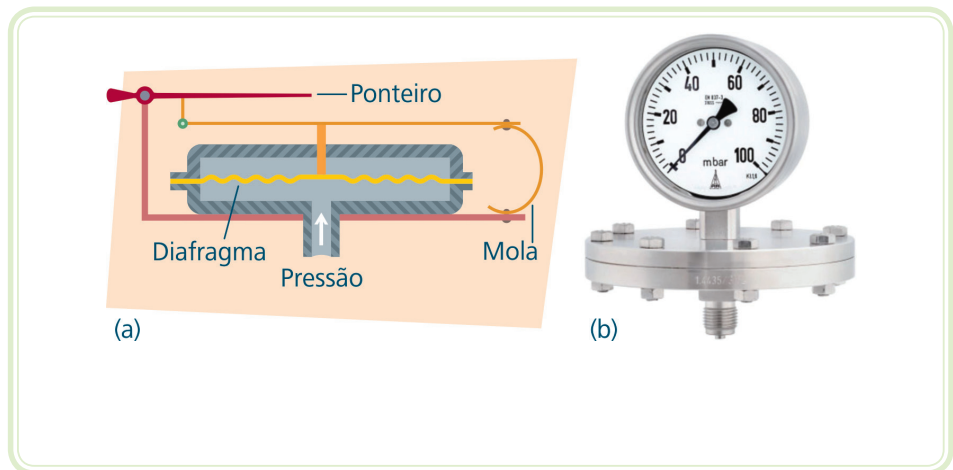
## 4.9 Manômetros

### 4.9.1 Manômetros tipo membrana ou diafragma

É constituído por um disco de material elástico (metálico ou não), fixo pela borda. Uma haste fixa ao centro do disco está ligada a um mecanismo de indicação. Quando uma pressão é aplicada, a membrana desloca-se e esse deslocamento é proporcional à pressão aplicada. A Figura 4.7(a) e (b) mostram o esquema de um manômetro tipo membrana e sua foto, respectivamente.



Verifique mais detalhes sobre manômetros do tipo membrana ou diafragma em: [http://m.albernaz.sites.uol.com.br/manometro\\_diafragma.htm](http://m.albernaz.sites.uol.com.br/manometro_diafragma.htm)



**Figura 4.7: Manômetro tipo membrana: (a) funcionamento e (b) exemplo**

Fontes: (a) CTISM

(b) [www.directindustry.com](http://www.directindustry.com)

O pressostato é um dos elementos mais empregados que utiliza como sensor o diafragma. Apresenta mecanismo de ajuste e chave de duas posições (ligada e desligada). Normalmente, um mecanismo de mola permite seu ajuste. Em

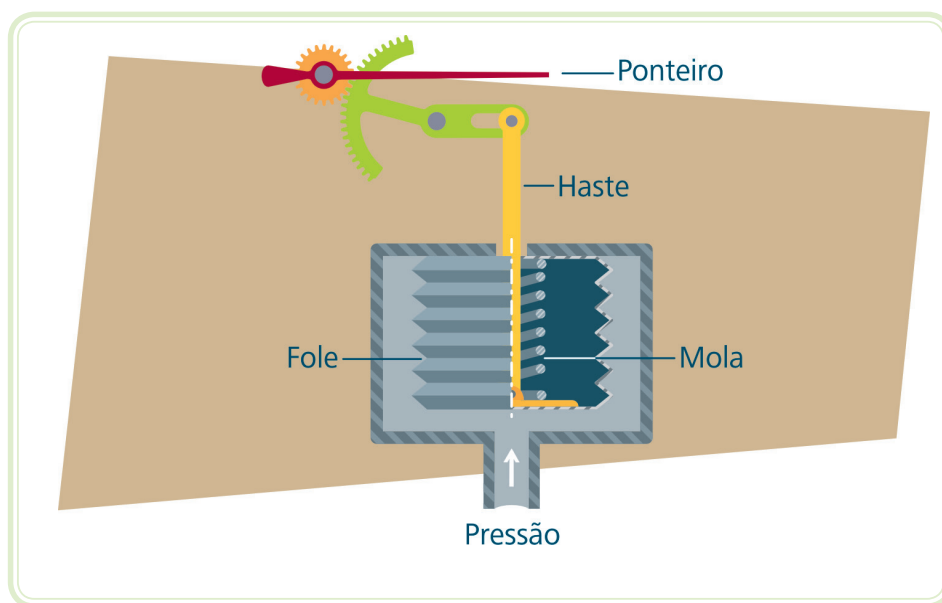
aplicações sujeitas a pressões elevadas num processo industrial, os equipamentos ficam sujeitos a possíveis deformações. Desse modo, deve-se evitar danos e rupturas que podem causar acidentes e prejuízos. A manutenção da pressão dentro de determinados limites de segurança pode ser realizada de forma automática com o pressostato. Esse dispositivo pode controlar a pressão em qualquer processo que necessita controle do tipo *on-off* ou liga-desliga, pois pode enviar ou cessar sinais para controle de bombas, atuadores, motores. Pode oferecer segurança, evitando a entrada em locais quando o nível de pressão não é seguro ou comutar circuitos elétricos de acordo com a necessidade de um processo controlado.



Veja fotos de vários pressostatos em:  
[http://www.zurichpt.com.br/?pagina=produtos2.php&categoria\\_d=18&categoria\\_nome=pressostatos](http://www.zurichpt.com.br/?pagina=produtos2.php&categoria_d=18&categoria_nome=pressostatos)

### 4.9.2 Manômetro tipo fole ou mola

O fole é também muito empregado na medição de pressão. Ele é basicamente um cilindro metálico, corrugado ou sanfonado. Quando uma pressão é aplicada no interior do fole, provoca sua distensão. Como ela precisa vencer a flexibilidade do material e a força de oposição da mola, o deslocamento é proporcional à pressão aplicada à parte interna. Da mesma forma, a mola, através da sua deformação, indicará a pressão em uma escala graduada. Veja a Figura 4.8 que mostra o esquema do manômetro tipo fole.



**Figura 4.8: Funcionamento do manômetro do tipo fole**

Fonte: CTISM

## Resumo

Dentre as variáveis que podem ser medidas, a pressão não é somente monitorada ou controlada, mas também permite monitoramento de nível, de vazão e de velocidade, por exemplo. Assim, a medida de pressão constitui-se um dos itens que devem ser considerados quando forem estudados outros tipos de medidas/controle.



## Atividades de aprendizagem

1. Qual o instrumento utilizado para medir pressão?
2. Por que a medida de pressão é uma das mais importantes?
3. Que dispositivos primários podem ser empregados para medir pressão?
4. O que é um manômetro do tipo fole?
5. O que é um manômetro do tipo membrana?
6. Qual o sinal padrão geralmente empregado em transmissores de pressão capacitivo?

# Aula 5 – Medidores de vazão

## Objetivos

Conhecer o princípio de funcionamento de parte dos medidores de vazão existentes no mercado.

Conhecer as características dos sensores de vazão.

## 5.1 Importância dos medidores de vazão

Nas instalações industriais o transporte de materiais se dá em grande parte através de tubulações. A medida de vazão é muito importante para monitoramento de processos industriais. Existem duas formas básicas de medir vazão: quantidade (massa) e volumétrica (volume). A quantidade transportada pode ser medida em unidades de volume ou unidades de massa (litros,  $m^3$  ou kg, toneladas). No entanto, a vazão instantânea é medida em  $l/m$ ,  $kg/h$  e  $m^3/h$ . A seguir, são apresentados os medidores de quantidade e volumétricos.

## 5.2 Medidores de quantidade

Em bombas de gasolina e hidrômetros, por exemplo, não há interesse em saber a vazão instantânea, mas a quantidade de combustível abastecido ou água consumida.

A seguir são apresentados medidores de quantidade por pesagem e de quantidade volumétrica.

**Medidores de quantidade por pesagem** – esses dispositivos são empregados para medir geralmente sólidos em kg e toneladas. Um exemplo desse tipo de medida é uma balança industrial.

**Medidores de quantidade volumétrica** – esses dispositivos são empregados como elementos primários de medida, pois à medida que o fluido passa em quantidades sucessivas pelo elemento de medição, um mecanismo de indicação é acionado. As bombas de gasolina e hidrômetros empregam

esses dispositivos. Assim, a vazão pode ser medida, conforme os dispositivos de medida volumétrica mostrados na Figura 5.1. Ex: disco nutante.

## 5.3 Medidores volumétricos

São aqueles que exprimem a vazão por unidade de tempo ( $\text{m}^3/\text{h}$  e  $\text{kg}/\text{h}$ ).

### 5.3.1 Medida de vazão por pressão diferencial

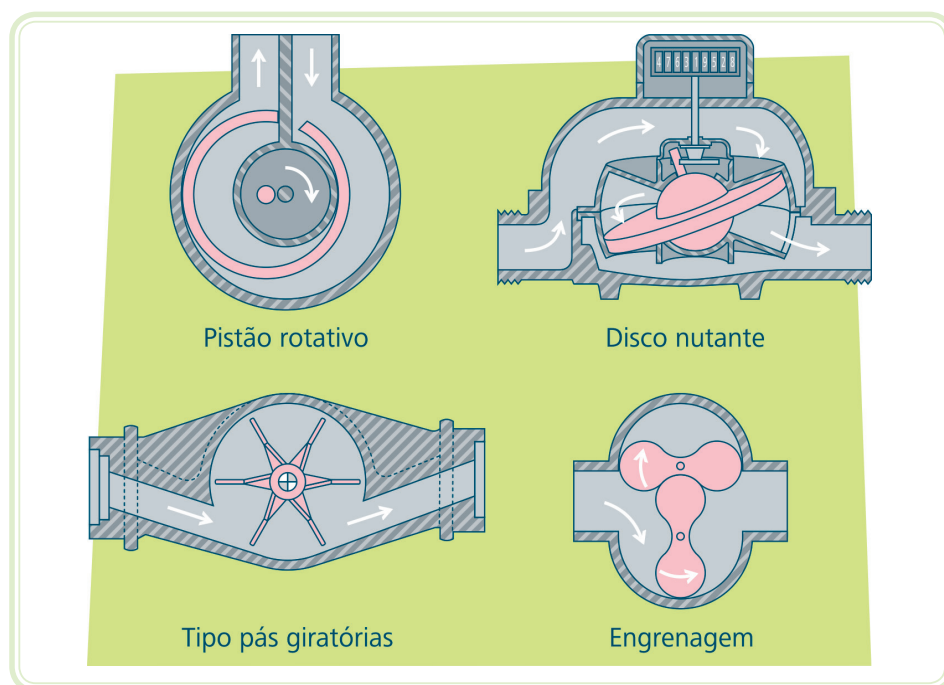
A pressão diferencial é produzida por vários tipos de elementos primários, colocados nas tubulações de tal forma que o fluido passe através deles com o objetivo de aumentar a sua velocidade e, diminuir a área da seção em um pequeno comprimento para ocorrer uma queda de pressão.

Podem ser aplicados a uma grande variedade de medições, envolvendo a maioria de gases e líquidos, fluidos com sólidos em suspensão, fluidos viscosos, em amplas faixas de temperatura e pressão, porém apresentam perda de carga, ocasionada pela placa de orifício do dispositivo.



Medidores de vazão por pressão diferencial utilizam a proporcionalidade da pressão diferencial ao quadrado da vazão para determiná-la.

Assim, de forma geral  $Q$  pode ser determinada por  $Q = K \cdot \sqrt{\Delta P}$  sendo  $Q$  a vazão,  $K$  constante de proporcionalidade que depende do instrumento empregado e das dimensões da tubulação, e  $\Delta P$  pressão diferencial devido a presença do instrumento.

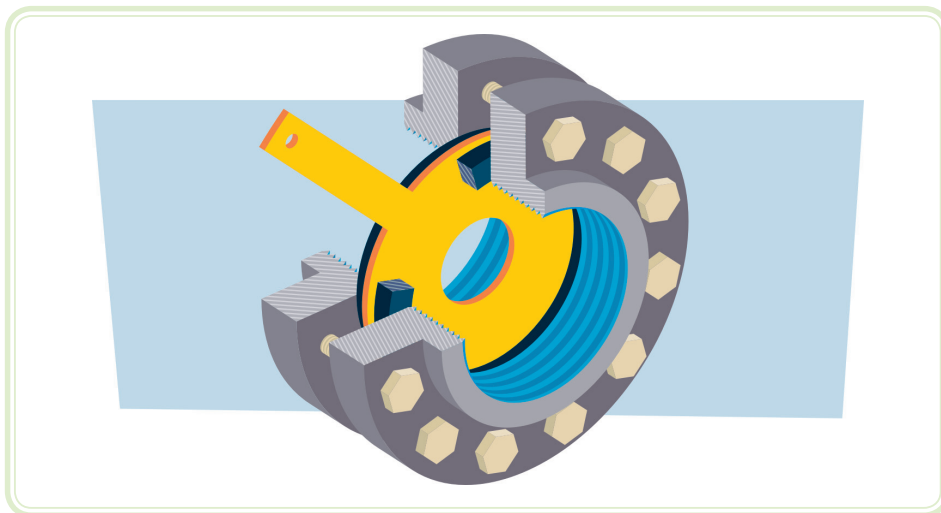


**Figura 5.1: Dispositivos dos medidores volumétricos**

Fonte: CTISM

### 5.3.2 Placa de orifício

A Figura 5.2 mostra uma placa de orifício. É um dos elementos mais simples e comumente empregados para medir pressão diferencial.

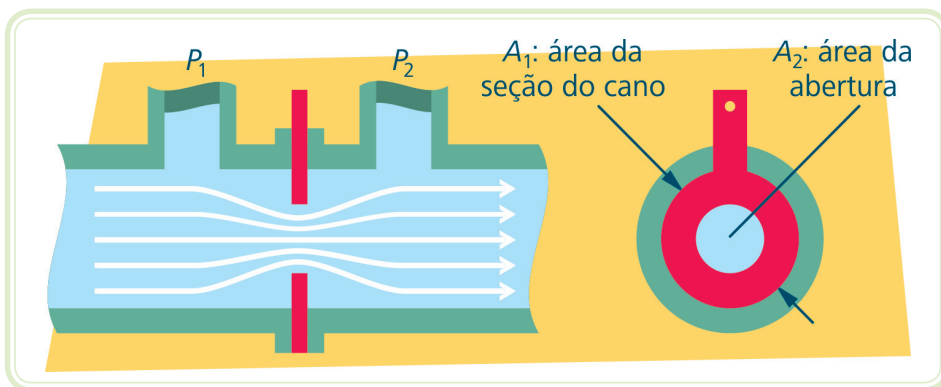


**Figura 5.2: Placa de orifício**

Fonte: CTISM

A placa é perfurada e instalada perpendicularmente ao eixo da tubulação. As bordas do orifício são perfeitas para garantir a precisão da medida. Os materiais empregados para fabricação são, geralmente, os aços inox, monel, latão, dependendo do fluido empregado. Esse dispositivo é caracterizado pela fácil instalação, baixo custo, pouca manutenção e troca simples, porém apresenta altas perdas de carga e baixo alcance.

A Figura 5.3 mostra a forma de instalação da placa de orifício para medir a diferença de pressão entre os pontos  $P_1$  e  $P_2$



**Figura 5.3: Medida de pressão através de placas de orifício**

Fonte: CTISM



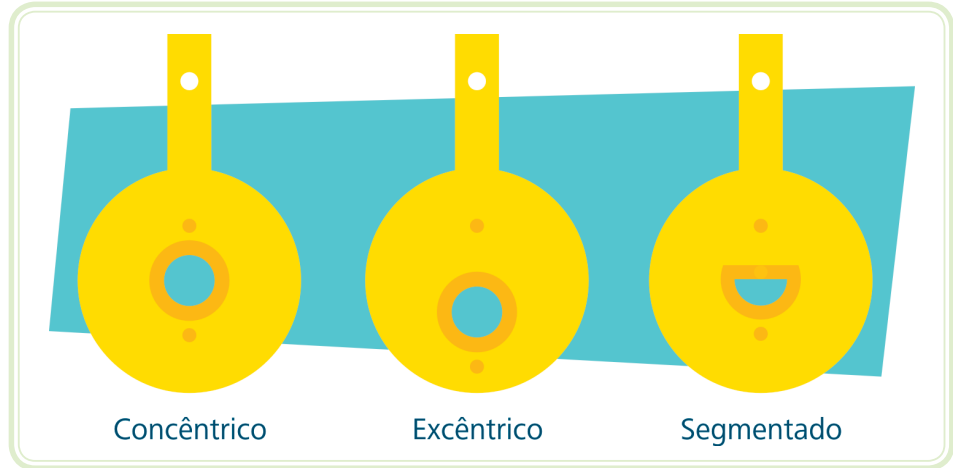
Acessar o site com dados técnicos de medidor de vazão:  
<http://www.techmeter.com.br/prod.htm>



Assista a um vídeo sobre ilustração de um sistema de medição de vazão em:  
<http://www.youtube.com/watch?v=RqDTwP1a6bo&feature=related>

Ver ilustração de um sistema de medida com placa de orifício na figura 2 em:  
<http://www.banasmetrologia.com.br/textos.asp?codigo=2546&secao=revistaasp?codigo=2546&secao=revista>

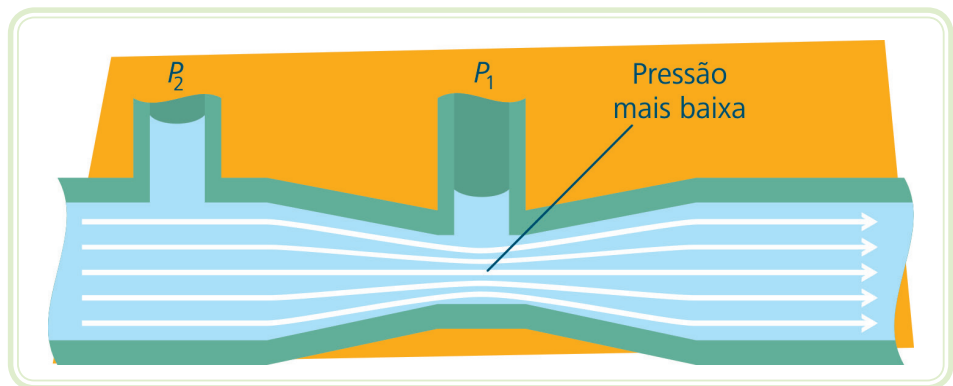
A Figura 5.4 mostra os tipos de orifícios empregados em placas de orifício. O tipo concêntrico é utilizado para líquidos, gases e vapor sem sólidos suspensos. O excêntrico é empregado em fluido com sólidos em suspensão, que podem ser retidos e acumulados na base da placa. Assim, o orifício é posicionado na parte inferior do tubo. No segmentado, a placa tem a abertura para passagem de fluido, disposta num semicírculo, destinado a fluidos laminados e com alta percentagem de sólidos em suspensão.



**Figura 5.4: Orifícios empregados na placa de orifício**  
Fonte: CTISM

### 5.3.3 Tubo de Venturi

A Figura 5.5 mostra o tubo Venturi, o qual apresenta redução de seção que resulta em aumento de velocidade do fluido e reduz a pressão. Assim, pode-se medir a pressão entre os pontos  $P_2$  e  $P_1$ . A recuperação de pressão em um tubo Venturi é eficiente e melhora o restabelecimento de pressão, o que favorece fluidos que carregam sólidos em suspensão. O tubo de Venturi produz uma medida mais regular que a placa de orifício para uma mesma vazão e diâmetro.



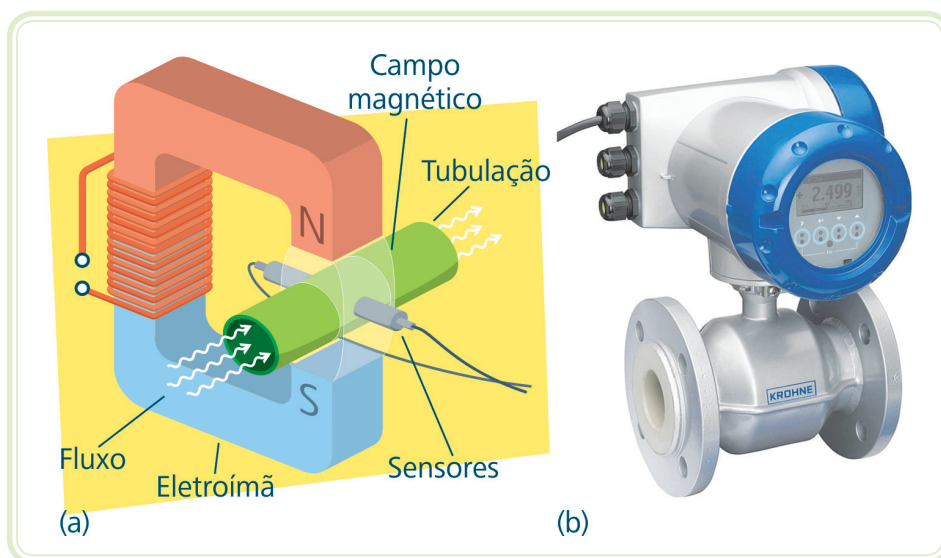
**Figura 5.5: Tubo de Venturi**  
Fonte: CTISM



## 5.4 Medidores de vazão eletromagnético

A Figura 5.6 mostra um medidor eletromagnético típico. Trata-se de um dos mais flexíveis e universais métodos de medidas de vazão. A perda de carga é equivalente a de um trecho reto de tubulação, pois não apresenta obstrução. Apresenta pouca sensibilidade à densidade e à viscosidade do fluido medido. Esses medidores são ideais para produtos químicos corrosivos, fluidos com sólidos em suspensão, lama e água.

As aplicações desse dispositivo compreendem saneamento, indústrias químicas, papel e celulose, mineração e alimentícias. A desvantagem desse medidor restringe-se à necessidade do fluido ser condutivo, e às propriedades magnéticas do mesmo adiciona um erro de medida.



**Figura 5.6: Sensor magnético de vazão: (a) funcionamento e (b) transmissor magnético de vazão**

Fontes: (a) CTISM

(b) [www.krohne.com](http://www.krohne.com)



O princípio de funcionamento do medidor eletromagnético de vazão é baseado na lei de Faraday, e assim, o condutor elétrico se move num campo magnético cortando as linhas de campo formando uma fem no condutor proporcional a velocidade do condutor. A tensão induzida é diretamente proporcional à velocidade média do fluxo, a indução magnética  $B$  e a distância entre os eletrodos  $D$  (diâmetro nominal do tubo) que são constantes. Então a fem é função da velocidade do líquido que é proporcional a vazão.

## 5.5 Medidores de vazão tipo turbina

A Figura 5.7(a) mostra um medidor do tipo turbina, o qual é constituído por um rotor montado na tubulação, o qual apresenta aletas que giram durante a passagem de fluido na tubulação. Um sensor de efeito Hall capta a passagem das hélices da turbina. A frequência dos pulsos gerados é proporcional à velocidade do fluido, sendo a vazão determinada pela medida desses pulsos. A Figura 5.7(b) mostra uma foto de um transmissor do tipo turbina.



Assista a um vídeo sobre outros tipos de dispositivos empregados para medida de vazão com menor perda de carga:

<http://www.youtube.com/watch?v=9e9NJT9fLVg&feature=related>



Verifique mais detalhes do emprego de medidores de vazão ultrassônicos, medidor tipo vortex e efeito Coriolis em: [http://www.editoravalete.com.br/site\\_controleinstrumentacao/arquivo/ed\\_118/cv3.html](http://www.editoravalete.com.br/site_controleinstrumentacao/arquivo/ed_118/cv3.html)

<http://www.nivetec.com.br/nivetec2008/produto.asp?cat=2>



Assista a vários vídeos ilustrativos com o princípio de medida através de:

Tubo de Pitot:  
[http://www.youtube.com/watch?v=D6sbzkYq3\\_c](http://www.youtube.com/watch?v=D6sbzkYq3_c)

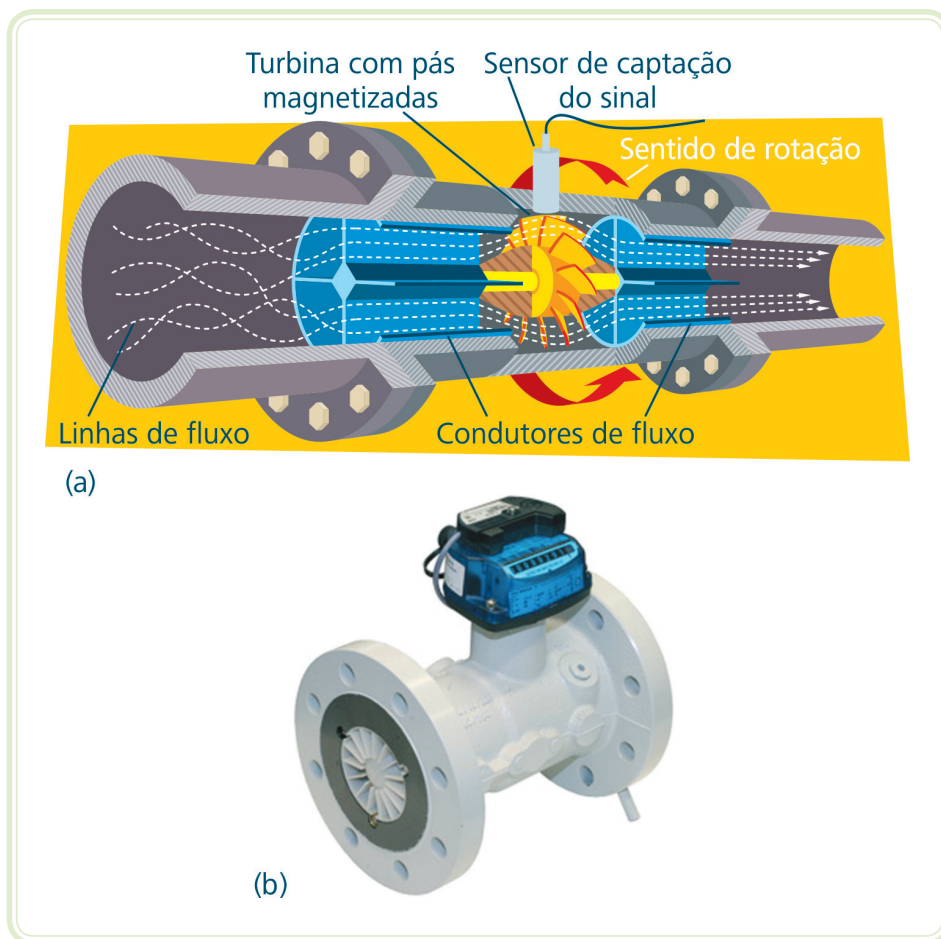
Vortex  
<http://www.youtube.com/watch?v=GmTmDM7jHzA>

Efeito Coriolis  
<http://www.youtube.com/watch?v=XIIViaNITlw>

Ultrassônico  
<http://www.youtube.com/watch?v=Bx2RnrfLkQg>



O tubo de Pitot permite medir velocidade e consequentemente a vazão. Com tubo de Pitot ideal e uma coluna de mercúrio para medir a diferença de pressão tem-se  $V = \sqrt{2hg}$  e  $Q = V \cdot A$ . Sendo  $h$  = altura,  $v$  = velocidade,  $A$  = área de secção transversal do tubo,  $g$  = aceleração da gravidade e  $Q$  = vazão.



**Figura 5.7: Sensor tipo turbina: (a) funcionamento e (b) exemplo de transmissor de vazão tipo turbina**

Fontes: (a) CTISM

(b) <http://itron.tradeindia.com>

Outros tipos de medidores e transmissores, utilizando tubo de Pitot, efeito Coriolis e ultrassônico, podem ser empregados para aplicações que envolvem medida de vazão.

## Resumo

Os medidores de vazão têm ampla aplicação tendo em vista os inúmeros setores que empregam esses dispositivos, que vão desde tubulações de esgoto, de água, petrolíferas entre outras.

A especificação de um medidor de vazão dependerá de que tipo de fluido será empregado e das condições gerais de temperatura, pressão, diâmetro de tubulação, fluido a ser medido, rangeabilidade, exatidão, facilidade de manutenção. A importância do que será medido deve ser considerada para

que se tenha êxito na aplicação e finalmente, a relação custo-benefício para decidir, a partir de informações técnicas, o que será empregado considerando as restrições impostas.

## Atividades de aprendizagem



1. O que são medidores de quantidade por pesagem?
2. O que são medidores de quantidade volumétrica?
3. Por que a placa de orifício é um dos elementos mais empregados para medir vazão?
4. Quais são as desvantagens do emprego da placa de orifício?
5. Quais são os tipos de orifícios empregados na placa de orifício e em que são utilizados?
6. Quais são as principais aplicações de medidores eletromagnéticos?
7. Que tipo de sinal é gerado no medidor do tipo turbina para realizar a medida?
8. Em que setores importantes são empregados medidores e transmissores de vazão?



# Aula 6 – Medida de nível

## Objetivos

Conhecer os sensores empregados em medida de nível.

Identificar as aplicações de medidores de nível.

## 6.1 Importância das medidas de nível

As medidas de nível permitem avaliar quantidades em tanques que contêm líquidos ou sólidos. Permitem também determinar limites de materiais estocados, fundamentais para continuidade da operação nos vários ramos de atividades.

## 6.2 Medida de nível

É chamada de monitoramento de nível contínuo, quando a saída é proporcional ao nível que se pretende medir, e discreta quando indica uma faixa ou presença de material armazenado. No quadro a seguir são mostradas as aplicações, considerando-se necessidade de medida conforme a classificação direta ou indireta, a tecnologia empregada e sua aplicação para líquidos ou sólidos.

**Quadro 6.1: Classificação de medida de nível**

Tecnologia aplicada		Líquidos	Sólidos
medida direta	medição por visores de nível	x	x
	medição por bóias e flutuadores	x	
	medição por contatos de eletrodos	x	
	medição por sensor por contato	x	
	medição por unidade de grandeza		x

	Tecnologia aplicada	Líquidos	Sólidos
medição indireta	medição por capacitância	x	x
	medição por empuxo	x	
	medição por pressão hidrostática		
	medição por célula d/p CELL		
	medição por caixa de diafragma	x	
	medição por tubo em U		
	medição por borbulhamento		
	medição por radioatividade	x	x
	medição por ultrassom	x	x
	medição por vibração	x	x
	medição por pesagem	x	x



Verifique várias formas de  
medida de nível em:  
[http://www.sensormag.com/  
sensors/leak-level/a-dozen-  
ways-measure-fluid-level-and-  
how-they-work-1067](http://www.sensormag.com/sensors/leak-level/a-dozen-ways-measure-fluid-level-and-how-they-work-1067)

## 6.3 Medida de nível direta

A medida é realizada tendo como referência o nível superior. São empregados réguas, visores de nível e bóias, podendo ser contínuo ou discreto.

### 6.3.1 Régua ou gabarito

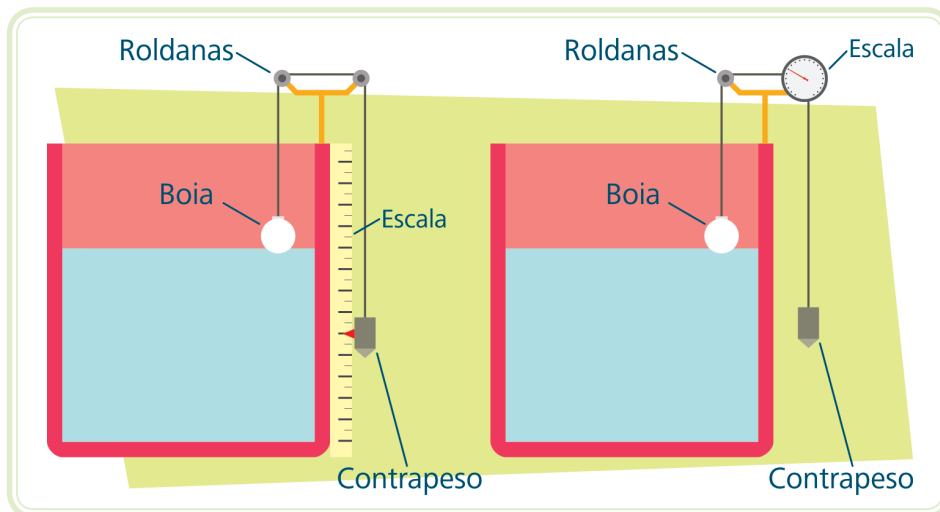
Consiste numa regra graduada com comprimento adequado ao reservatório que permite a leitura direta sobre a mesma.

### 6.3.2 Visores de nível

Nos visores de nível, emprega-se o princípio de vasos comunicantes. O nível é observado por um visor de vidro, com escala graduada acompanhando o visor. Tem como característica a simplicidade, baixo custo e precisão. A medida pode ser realizada tanto em tanques abertos como fechados.

### 6.3.3 Bóia ou flutuador

A Figura 6.1 mostra o emprego de uma boia para medida de nível. A boia fica conectada a um contrapeso, o qual indica o nível numa escala. A boia é empregada, geralmente, em tanques abertos.



**Figura 6.1: Boia ou flutuador**

Fonte: CTISM

## 6.4 Medida de nível indireta

Outras grandezas físicas, tais como pressão, empuxo e radiação são usados para indicar o nível indiretamente.

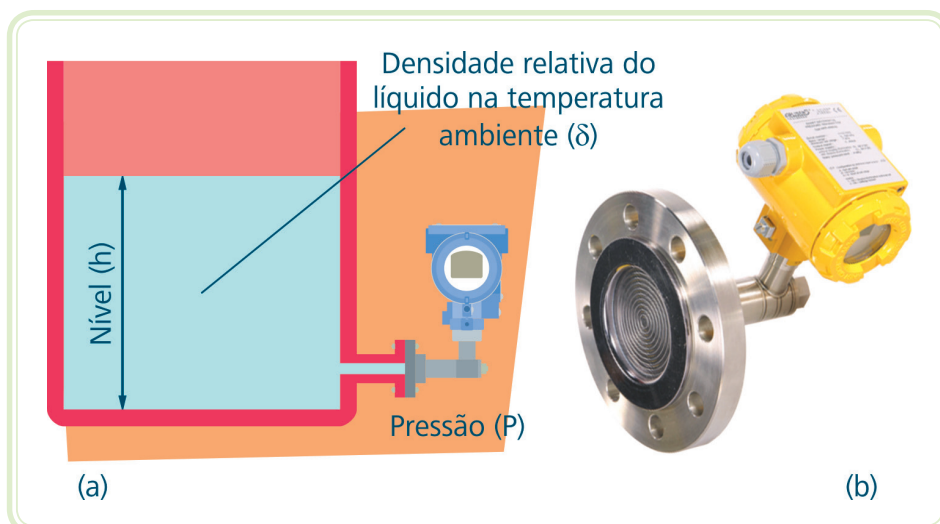
### 6.4.1 Medida de nível por pressão hidrostática

A Figura 6.2 mostra a medida de nível por pressão hidrostática. A altura da coluna do líquido  $h$  indica o nível segundo a pressão exercida  $P$ , a qual é definida por  $P = h \cdot \delta$ . Isso é empregado em tanques não pressurizados.



Verifique detalhes sobre medida de nível por pressão hidrostática em:

<http://www.indiamart.com/company/48528/levelindicators.html#hydrostatic-level-transmitter>

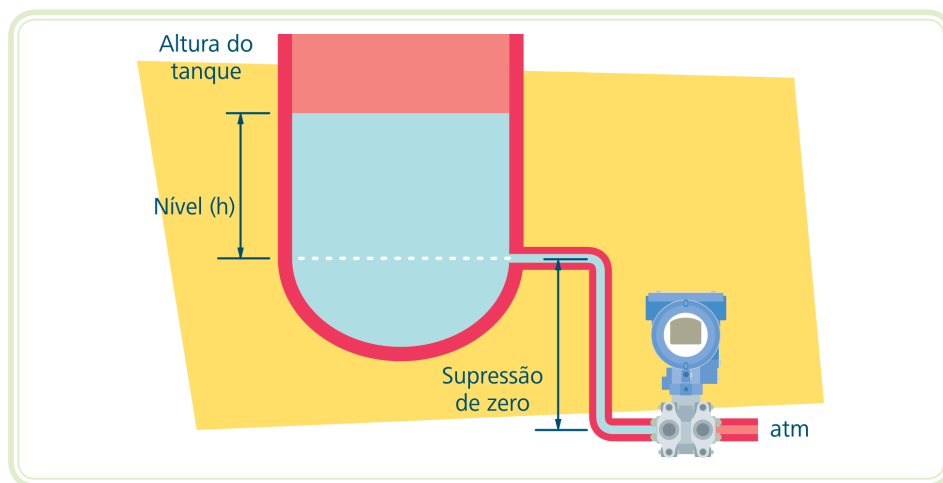


**Figura 6.2: (a) Medição de nível com tanque aberto nivelado com a tomada de impulso e (b) transmissor de nível**

Fontes: (a) CTISM

(b) [www.zenozcontrol.pt](http://www.zenozcontrol.pt)

Para facilidade de manutenção e acesso ao instrumento o transmissor pode ser instalado abaixo do tanque, porém o nível indicado poderá ser superior. A Figura 6.3 mostra a medida de nível por pressão hidrostática com supressão zero.

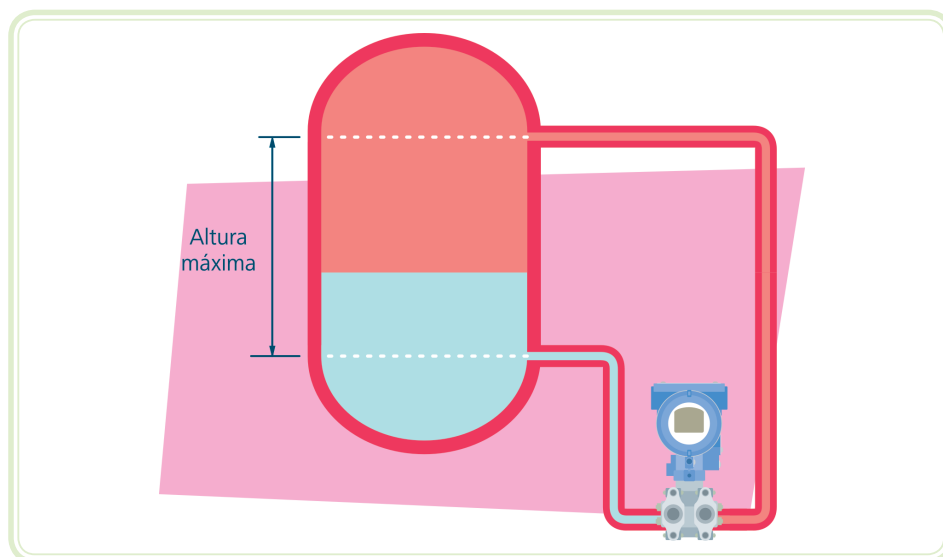


**Figura 6.3: Medida de nível por pressão hidrostática em tanques abertos com transmissor abaixo da tomada de impulso**

Fonte: CTISM

### 6.4.2 Medida de nível por pressão diferencial em tanques pressurizados

A Figura 6.4 mostra a medida de nível realizada por pressão diferencial em tanques pressurizados. A pressão que atua na câmara de alta pressão é a soma da pressão da superfície do líquido e da coluna de líquido no fundo do reservatório. A câmara de baixa pressão é conectada na tubulação de impulso da parte superior do tanque. Mede-se somente a pressão sob a superfície do líquido.



**Figura 6.4: Medida de nível em tanques pressurizados**

Fonte: CTISM



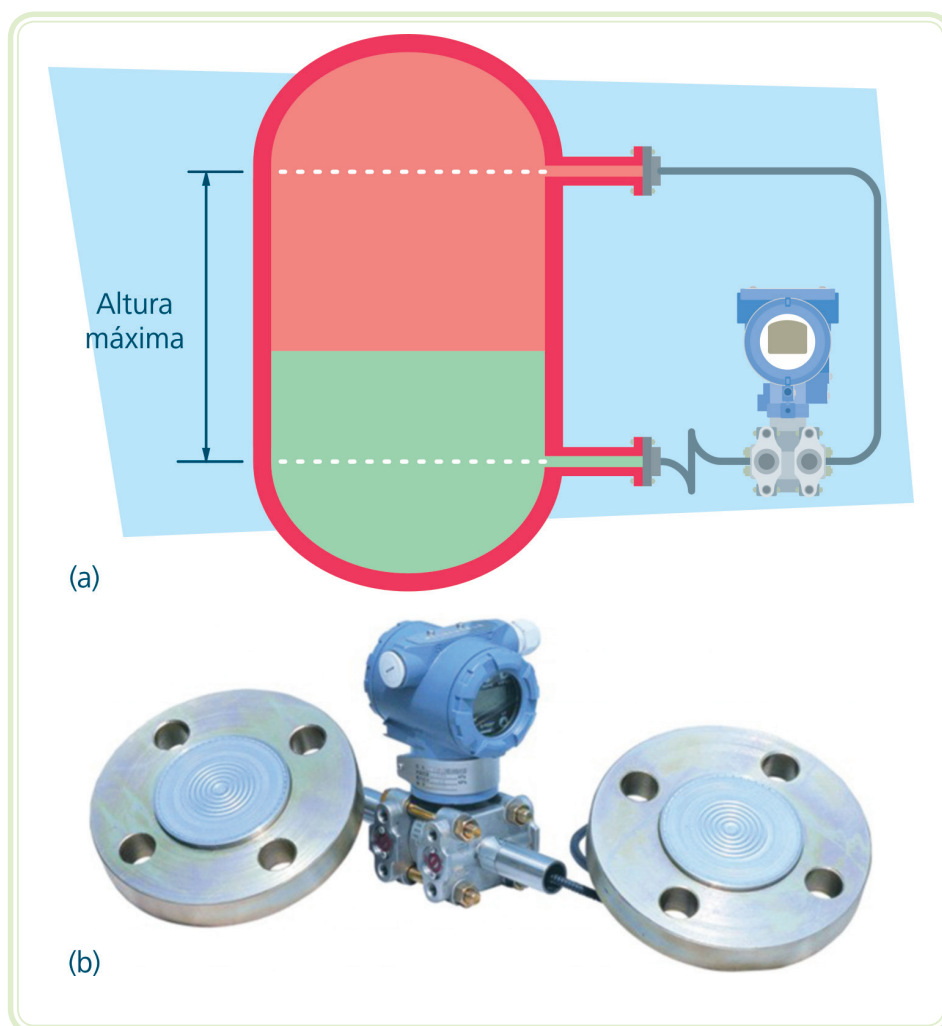
Princípio de Arquimedes  
"Todo corpo mergulhado em um fluido sofre a ação de uma força vertical dirigida de baixo para cima, igual ao peso do volume de fluido deslocado"

$$E = V \cdot \delta$$

Sendo: E o empuxo, V o volume deslocado e  $\delta$  o peso específico do líquido.



Na Figura 6.5 mostra-se um sistema de medida de nível com selagem (para fluidos corrosivos), no qual deve ser feita uma elevação, a qual consiste em anular a pressão da coluna líquida na tubulação de impulso da câmara de baixa pressão do transmissor de nível.



Veja várias fotos de medidores de nível em:  
<http://www.dca.ufrn.br/~acari/sistemas%20de%20medida/slides%20instrumentacao%20nivel.pdf>

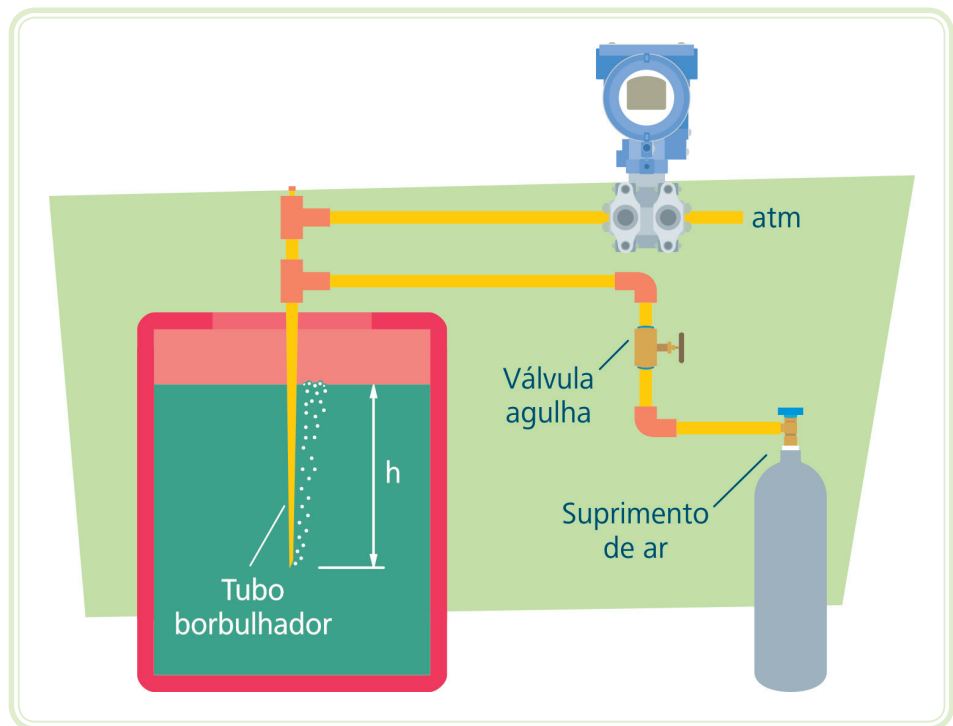
**Figura 6.5: (a) Medição de nível com selagem e (b) transmissor de pressão com selos remotos**

Fontes: (a) CTISM  
(b) [www.gdxgy.com](http://www.gdxgy.com)

### 6.4.3 Medida de nível por borbulhador

A Figura 6.6 mostra o sistema de borbulhador. Esse sistema detecta nível de líquidos viscosos e corrosivos, sendo possível instalar o medidor a distância, inclusive.

Uma válvula libera ar ou gás com vazão constante no fundo do tanque. A pressão do conduto é medida e varia de acordo com o nível da coluna líquida. Quanto maior for a pressão, maior será o nível do tanque.

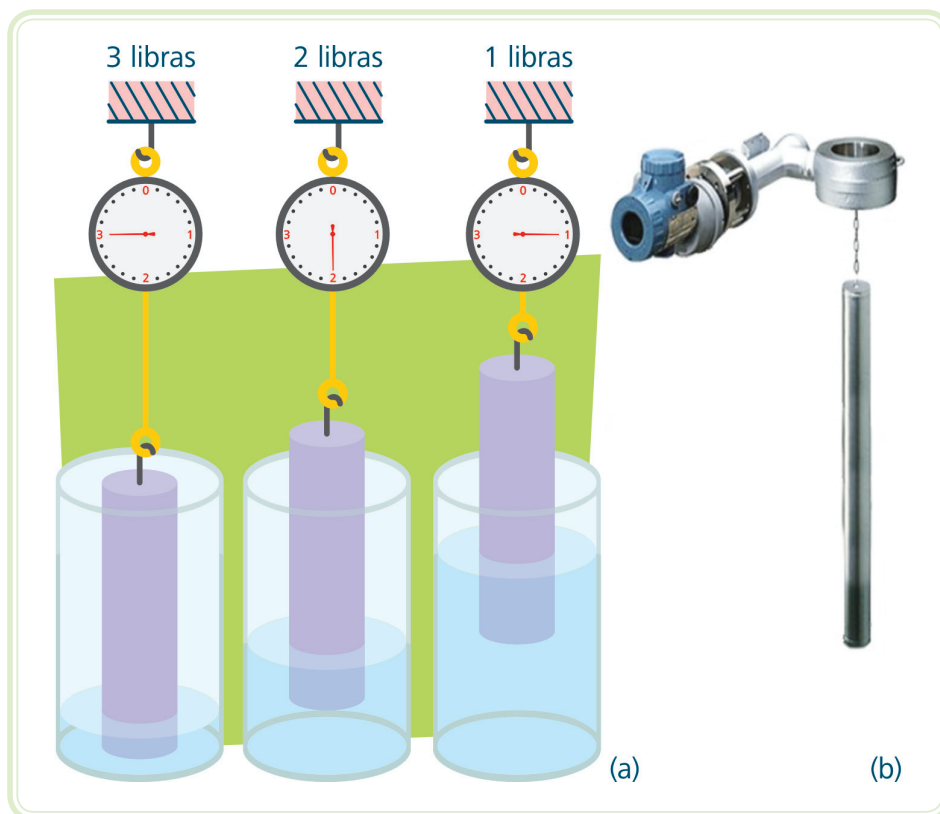


**Figura 6.6: Princípio da medição de nível com borbulhador**

Fonte: CTISM

#### 6.4.4 Medida de nível por empuxo

Utiliza-se um deslocador, que sofre o empuxo do nível de um líquido, transmitindo para um indicador esse movimento conforme o nível. Assim, para diferentes alturas, tem-se diferentes variações de empuxo pela tensão provocada no dispositivo. A Figura 6.7(a) mostra deslocamentos diferentes em função da quantidade de água, assim como as medidas.



**Figura 6.7: Medida de nível por empuxo: (a) funcionamento e (b) transmissor de nível por empuxo**

Fontes: (a) CTISM  
(b) [www.naka.com.br](http://www.naka.com.br)

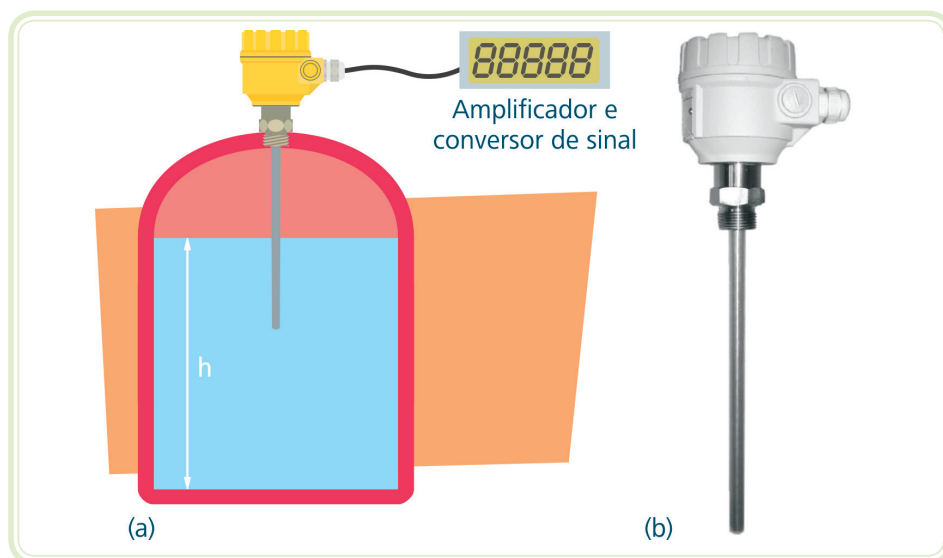
### 6.4.5 Medida de nível por capacitância

O medidor de nível capacitivo mede as capacitâncias do capacitor formadas pelo eletrodo submerso no líquido em relação às paredes do tanque. O elemento sensor, geralmente, é uma haste ou cabo flexível de metal, conforme mostra a Figura 6.8.

A medida de nível por capacitância pode ser feita sem contato. A sonda consiste num disco que é uma das placas do capacitor e a outra é a superfície do produto ou a base do tanque. Podem ser usados dois tubos concêntricos mergulhados no tanque, sendo o externo aberto e o interno fechado. Quanto mais líquido tiver no tubo externo, maior será o valor da capacitância.



À medida que o nível do tanque aumenta, o valor da capacitância também aumenta devido ao dielétrico ar ser substituído pelo líquido. A capacitância é convertida por um circuito eletrônico numa corrente elétrica, sendo este sinal indicado num medidor.



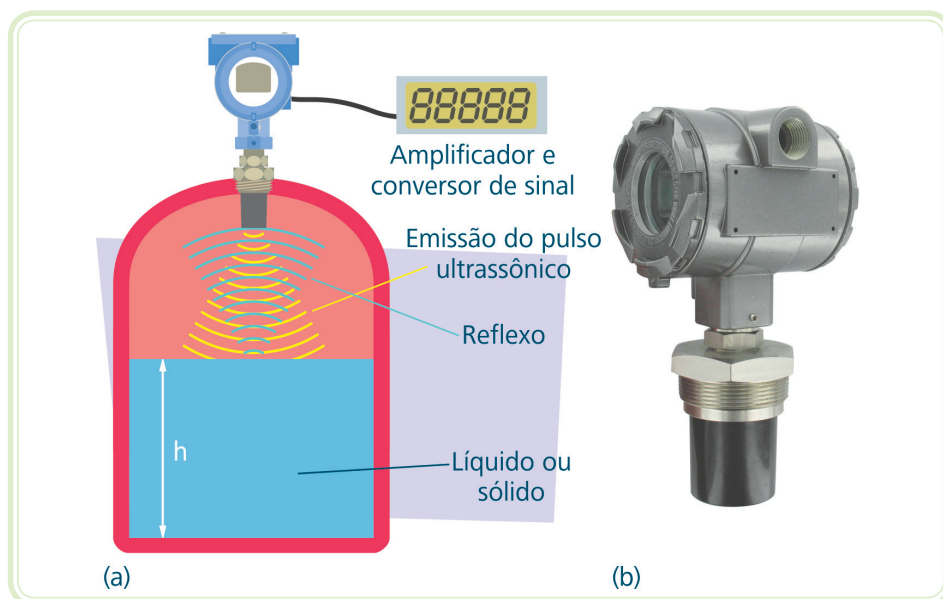
**Figura 6.8: Sistema de medição de nível por capacitância: (a) funcionamento e (b) exemplo**

Fontes: (a) CTISM

(b) [www.nivetec.com.br](http://www.nivetec.com.br)

#### 6.4.6 Medida de nível por ultrassom

Os dispositivos ultrassônicos podem ser empregados tanto para medida de nível contínua como para descontínua. Normalmente, são empregados no topo, sem contato com o produto a ser medido. Ao emitir o som, o aparelho calcula o tempo de retorno para avaliar o nível. Se o tempo for maior, indica um nível menor de líquido. A Figura 6.9 apresenta o funcionamento do sensor de nível ultrassônico.



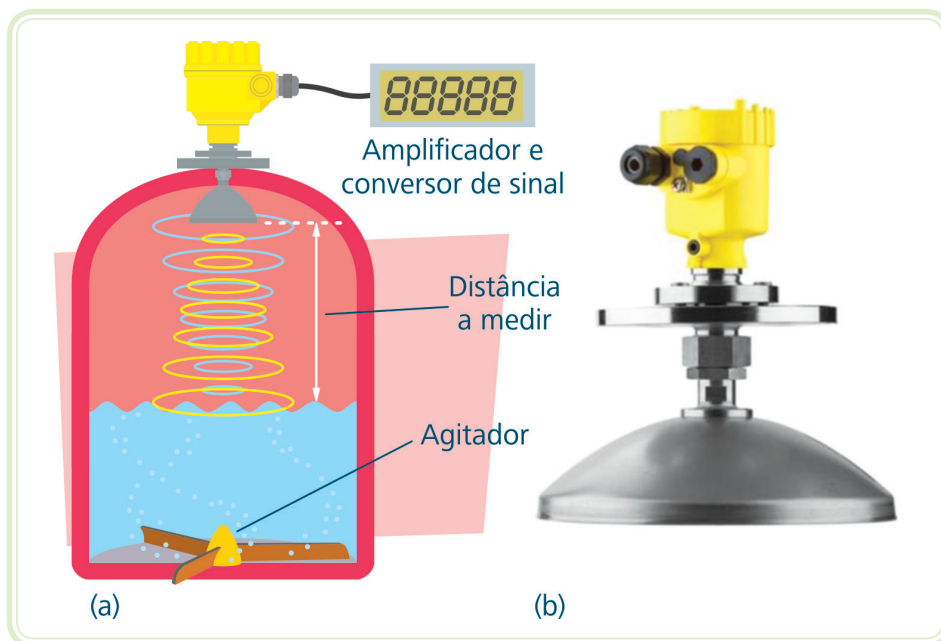
**Figura 6.9: Sistema de medição com ultrassom: (a) funcionamento e (b) transmissor de nível por ultrassom**

Fontes: (a) CTISM

(b) <http://news.thomasnet.com>

### 6.4.7 Medida de nível por radar

O radar emite pulsos eletromagnéticos de alta frequência ao alvo a ser detectado, conforme mostra a figura 6.10. A distância entre a antena e a superfície é calculada em função do tempo de atraso entre o sinal emitido e a recepção do mesmo. Esse tipo de medidor tem imunidade a efeitos provenientes de gases, pó e espuma entre a superfície e o detector, porém, tem custo relativamente alto.



**Figura 6.10: Medida de nível por radar: (a) funcionamento e (b) exemplo**

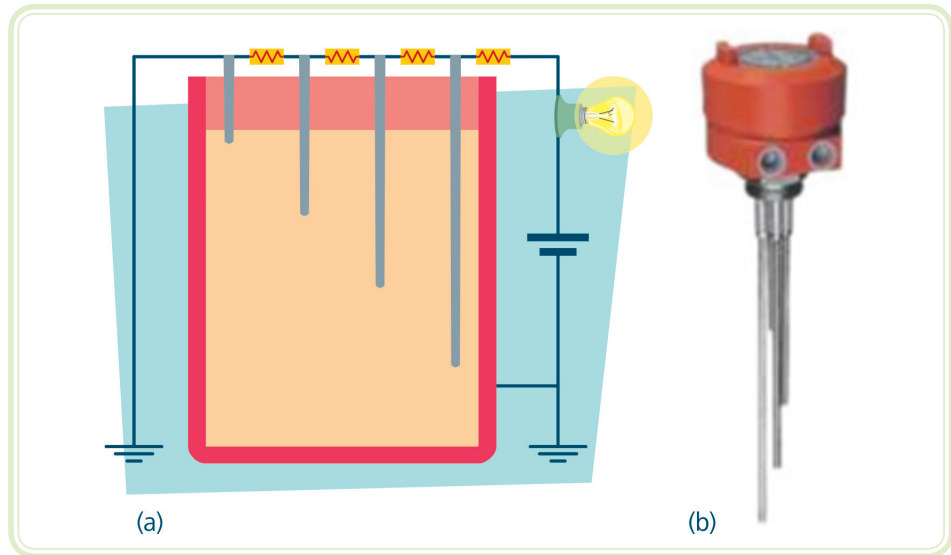
Fontes: (a) CTISM

(b) [www.vegacontrols.co.uk](http://www.vegacontrols.co.uk)

### 6.4.8 Medida de nível descontínua

É empregada para alarme e segurança e para definir nível alto ou baixo. A medida de nível descontínua emprega a propriedade condutiva de líquidos, sendo mergulhados eletrodos metálicos de comprimentos diferentes. Para ocorrer condução, o nível de líquido deve atingir o último eletrodo. Assim, a lâmpada acenderá indicando o nível máximo, conforme se observa na Figura 6.11.

A Figura 6.12 mostra o sistema que emprega uma boia acoplada a contatos elétricos, porém outros sensores eletrônicos como do tipo capacitivo ou ultrassônico, podem ser utilizados, pois são mais sensíveis.



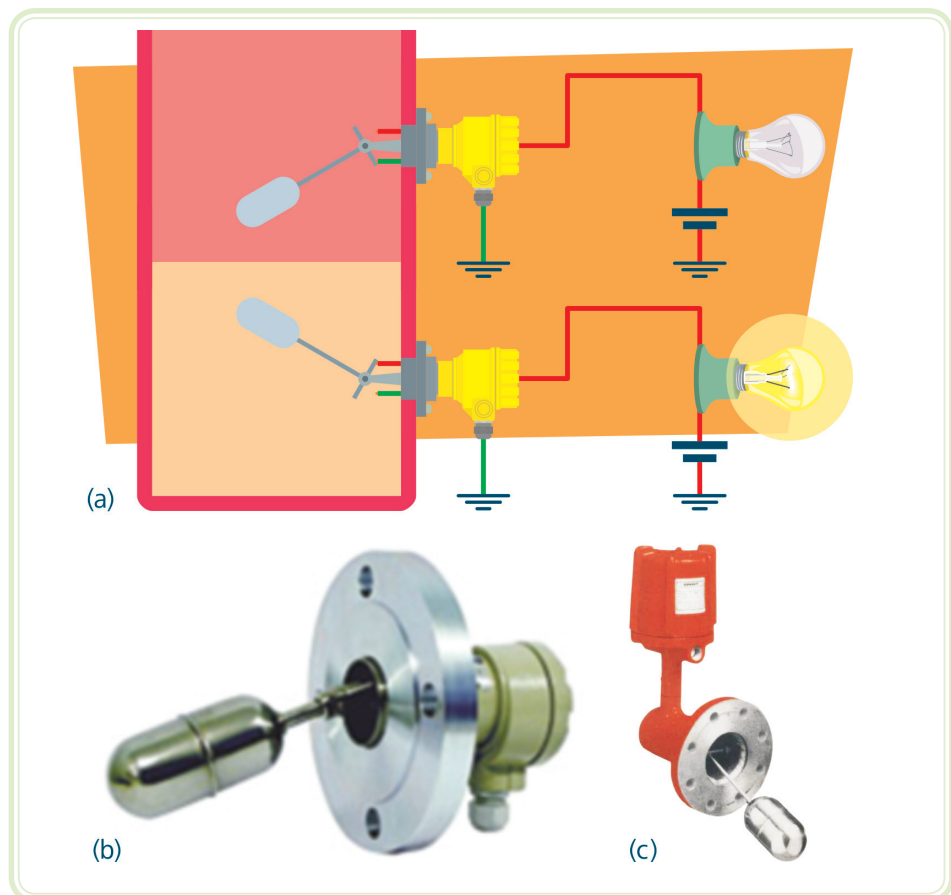
**Figura 6.11: Medida de nível descontínuo por condutividade: (a) funcionamento e (b) exemplo**

Fontes: (a) CTISM  
(b) www.smar.com



Veja animação de sensores de nível em:

<http://www.icos.com.br/?bnrkw=fluxo&gclid=CLmyj9G-tKECFQIf7god3jqYAw???c>  
[os/?bnrkw=fluxo&gclid=CLmyj9G-tKECFQIf7god3jqYAw](http://www.icos.com.br/?bnrkw=fluxo&gclid=CLmyj9G-tKECFQIf7god3jqYAw)



**Figura 6.12: Medida de nível descontínua por boia lateral: (a) funcionamento, (b) medidor com transmissor e (c) outro exemplo**

Fontes: (a) CTISM  
(b) www.nei.com.br  
(c) www.smar.com

## Resumo

Os medidores de níveis são muito empregados, desde as aplicações mais simples, como o tanque de um carro e que envolvem grandes valores como um grande depósito de combustível. A importância desses medidores não se restringe ao monitoramento do nível de caixas d'água, mas vai além. São usados no controle de estoque, de nível e em diversas aplicações em que o nível indica um alerta de que algo deve ser considerado na ocorrência de um evento desse tipo.

A área de instrumentação é bastante ampla e não se restringe aos tópicos apresentados até o momento. É necessária atualização constante do técnico através de leituras de revistas técnicas, catálogos, manuais de equipamentos e componentes.

A variedade de sensores disponíveis no mercado, o lançamento de novos componentes e novas funções obrigam o técnico em automação industrial a estar em constante atualização de forma a integrar a instrumentação com a automação de um processo.

Desse modo, deve-se considerar o emprego do sistema como um todo, levando em conta as características dos sensores para determinada aplicação, o emprego de elementos controladores, conversores, transmissores, indicadores e atuadores que podem integrar um processo.

Um exemplo da importância da atualização constante é a diversidade de componentes que o técnico poderá encontrar no mercado de trabalho.



Acesse vários sites com informações importantes sobre instrumentação:

<http://www.markare.com.br/produtos.html>

<http://www.apgsensors.com/application/process-monitoring.html>

<http://www.yokogawa.com/fld/fld-top-en.htm>

<http://digital.ni.com/worldwide/brazil.nsf/web/all/0F5C04173241865A8625745000511DFA>

Veja detalhes sobre transmissores no site:  
<http://www.instrumentacao.com/transmissao.html>

## Atividades de aprendizagem

1. O que é uma medida de nível contínua?
2. O que é uma medida de nível discreta?
3. Diferencie medidas feitas com régua ou gabarito de visores de nível.
4. Quais grandezas são usadas também para medida de nível de forma indireta?
5. O que é medida de nível por pressão hidrostática?



6. O que é medida de nível por pressão diferencial em tanques abertos?
7. O que é medida de nível por pressão diferencial em tanques pressurizados?
8. Como é realizada a medida de nível por empuxo?
9. Como é realizada a medida de nível por capacitância?
10. Como é realizada a medida de nível por ultrassom?
11. Como é realizada a medida de nível por radar?
12. Para que aplicações podem ser empregadas medidas de nível descontínuas?



## Referências

BEGA, E. A. **Instrumentação Aplicada ao Controle de Caldeiras**. 2. ed. Rio de Janeiro: JR Ed. Técnica, 1998.

BEGA, E. **Instrumentação Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

BOLTON, W. **Instrumentação & Controle**. Tradução de Luiz Roberto de Godoi Vidal. São Paulo: Hemus, 2005.

BORCHARDT, I. G. e BRITO R. M. **Fundamentos de Instrumentação para Monitoramento e Controle de Processos**. 2. ed. São Leopoldo: Unisinos, 1998.

DALLY, J. W., RILEY, W. F.; McCONNEL, K. G. **Instrumentation For Engineering Measurements**. 2. ed. New York: John Wiley& Sons, 1993.

FIALHO, A. B. **Instrumentação Industrial** – conceitos, aplicações e análises. 6. ed., São Paulo: Érica, 2007.

FUENTES, R. C. **Apostila de Automação Industrial**. Disponível em: <[http://w3.ufsm.br/fuentes/index\\_arquivos/CA03.pdf](http://w3.ufsm.br/fuentes/index_arquivos/CA03.pdf)>. Acesso em: Jul. 2010.

GONÇALVES, M. G. **Monitoramento e Controle de Processos**. PETROBRÁS: Rio de Janeiro/SENAI: Brasília, 2003.

JOHNSON, S. D. **Process Control Instrumentation Technology**. 6 ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 2000.

MORISS, A. S. **Measurement Instrumentation Principles**. 1. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001.

NATALE, F. **Automação Industrial**. Editora Érica, 2005.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. 4. ed. São Paulo: Pearson, 2003.

PAVANI, S. A. **Instrumentação Básica**. Caderno Didático, UFSM – EAD – CTISM, 2009.

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

SENSE. **Manual de Instrução de Sensores indutivos**. Disponível em: <[http://www.sense.com.br/idiomas/pt\\_BR/arquivos/produtos/arq2/Indutivos.pdf](http://www.sense.com.br/idiomas/pt_BR/arquivos/produtos/arq2/Indutivos.pdf)>. Acesso em Jul. 2010.

SIGHIERI, L.; NISHIARI, A. **Controle Automático de Processos Industriais: instrumentação**. São Paulo: Edgar Blücher, 1980.

TUMANSKI, S. **Principle of Electrical Measurement**. Boca Raton: Crc Press, 2006.

THOMAZINI, D. E ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores Industriais: Fundamentos e Aplicações**. 5. ed. São Paulo: Editora Érika, 2008.

## Currículo do professor-autor



**Álysson Raniere Seidel** é natural de São Pedro do Sul e professor do Colégio Técnico Industrial (CTISM) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Possui graduação em Engenharia Elétrica pela UFSM (1999) e em Formação Pedagógica de Docentes pela Universidade de Passo Fundo (UPF) em 2005, doutorado em Engenharia Elétrica pela UFSM (2004). Atuou como professor do curso de Engenharia Elétrica na UPF de 2004 a 2008. Atualmente é professor da UFSM no Colégio Técnico Industrial e atua na Pós-graduação em Engenharia Elétrica da UFSM. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em circuitos eletrônicos, atuando, principalmente, nos seguintes temas: reatores eletrônicos, iluminação, eletrotécnica e eletrônica. No CTISM ministra as disciplinas de eletricidade e eletrônica de potência. Atua em pesquisa e atualmente é coordenador do curso técnico subsequente de eletrônica do CTISM. É Membro do IEEE (*The Institute of Electrical and Electronics Enginners*) e filiado ao IAS (*Industry Application Society*), a SOBRAEP (Sociedade Brasileira de Eletrônica de Potência). É revisor da revista e ao IES (*Industrial Electronics Society*), publicada pelo IEEE, e de várias conferências nacionais e internacionais.

Mais detalhes da produção científica do professor podem ser encontrados no currículo lattes em <http://lattes.cnpq.br/5764635299335289>.