

# INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL – MEDIÇÃO DE PRESSÃO

## DEFINIÇÃO DE PRESSÃO

A pressão de um fluido líquido ou gasoso é a força por unidade de superfície que o mesmo exerce sobre as paredes que o contêm. É uma grandeza derivada e representa-se por:

$$\vec{P} = \frac{\vec{F}}{S} \quad \vec{P} = \text{Pressão} \quad \vec{F} = \text{Força} \quad S = \text{Superfície}$$

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad m = \text{Massa} \quad \vec{a} = \text{Aceleração}$$

## Princípio de Pascal

O acréscimo de pressão produzido num fluido transmite-se integral e quase instantaneamente a todos os pontos desse fluido.

## Instrumentos de Medição

A pressão mede-se com instrumentos mecânicos de leitura local denominados manómetros, (do tipo Bourdon, diafragma, coluna, entre outros) ou com instrumentos electrónicos denominados transdutores/transmissores de leitura indirecta e remota.

## Unidades de Pressão

1. Pa ou N/m<sup>2</sup> (unidade do SI);
2. mmH<sub>2</sub>O;
3. mmHg;
4. psi (libra por polegada quadrada);
5. kgf/cm<sup>2</sup>;
6. bar;
7. atm.

## Conversão de Unidades de Pressão

	MmHg	psi	Kgf/cm <sup>2</sup>	bar	atm
mmHg	1	0.0193	0.001358	0.001317	0.001316
psi	51.719	1	0.0703	0.0689	0.0680
Kgf/cm <sup>2</sup>	736	14.223	1	0.9807	0.9677
bar	750	14.513	1.0197	1	0.9867
atm	760	14.705	1.0333	1.0134	1

Tabela 1 · Tabela de conversão

Nota: 1 Kgf/cm<sup>2</sup> = 10 000 mmH<sub>2</sub>O e 1 bar = 100 000 Pa

## Classes de Pressão

A Pressão mede-se em valores **Absolutos** ou **Diferenciais**.

1. **Pressão Absoluta:** É o valor da pressão relativamente ao zero absoluto (pontos A e A' da Figura 1);
2. **Pressão Atmosférica:** É a pressão exercida pela atmosfera, que ao nível do mar é aproximadamente 760 mmHg absolutos;

3. **Pressão Relativa:** É a diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica do lugar onde se efectua a medição (ponto B da Figura 1);
4. **Pressão Diferencial:** É a diferença entre duas pressões (pontos C e C' da Figura 1);
5. **Vácuo:** É quando um sistema tem pressão relativa menor do que a pressão atmosférica.

Nota: A pressão relativa e diferencial podem ter sinal positivo ou negativo, isto é, pressão ou vácuo.

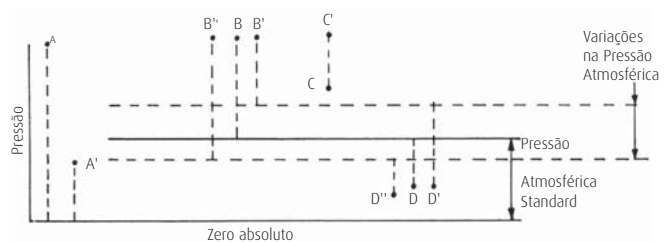


Figura 1 · Relação entre as diversas designações de pressão

## Princípio de Medida

### Elementos mecânicos

Os elementos mecânicos podem ser classificados em dois grupos. O primeiro grupo inclui manómetros mecânicos de medida directa que medem a pressão comparando-a com a exercida por um líquido de densidade e altura conhecidas.

Por exemplo o manómetro de coluna líquida o valor da pressão é obtido medindo o comprimento da coluna de líquido necessário para equilibrar a pressão que se quer medir. A figura 2 representa um tipo de **manómetro em U**, que pode ser utilizado para medir pressões relativas e pressões diferenciais.

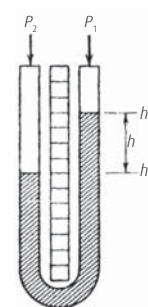


Figura 2 · Manómetro em U

A diferença de pressão entre os extremos do manómetro é dada por:

$$P_2 - P_1 = \gamma \times (h_1 - h_2) = g \times \rho \times h$$

em que:

$P_1$  e  $P_2$  - pressões aplicadas nas extremidades;

$\gamma$  - peso volúmico do líquido manométrico (Tabela 2);

$\rho$  - massa volúmica do líquido manométrico (Tabela 2);

$h_1$  - altura do líquido no ramo associado a  $P_1$ ;

$h_2$  - altura do líquido no ramo associado a  $P_2$ ;

$h$  - diferença entre as cotas das superfícies livres, que depende da densidade do líquido manométrico;

$g$  - aceleração da gravidade ( $g = 9.80 \text{ m/s}^2$ ).

	$\rho \text{ (Kg/m}^3\text{)}$	$\gamma \text{ (N/m}^3\text{)}$
água	1000	9807
mercúrio	13546	132840

Tabela 2 · Características dos líquidos manométricos mais correntes

A exactidão deste tipo de manómetro é elevada, dependendo fundamentalmente da exactidão na medida de  $h$ . Apesar de ser relativamente fácil a obtenção de um sinal eléctrico representativo da altura  $h$ , devido à sua fragilidade e à pequena gama, de medida, não é normalmente utilizado em aplicações industriais. É no entanto utilizado com frequência em laboratórios como padrão para aferição de outros tipos de sensores de pressão.

O segundo grupo de elementos mecânicos inclui os manómetros mecânicos de maior utilização na indústria e usam deformações quantitativas de uma membrana elástica para medir a pressão. Os mais utilizados são o tubo de Bourdon, o diafragma e o fole.

Os materiais aplicados normalmente são aço inoxidável, ligas de cobre ou níquel ou liga especial como Monel.

O **tubo de Bourdon** é provavelmente o manómetro industrial mais usado em aplicações tanto de pressão como de vácuo. O tubo de Bourdon pode ter a forma de um C, uma espiral ou hélice, como se vê na Figura 3. É formado pelo achatamento de um tubo redondo que depois é dobrado em C, espiral ou hélice. Uma extremidade do tubo é lacrada e fixa a um mecanismo indicador. Quando uma pressão é aplicada à extremidade aberta, o tubo tende a endireitar-se e produz uma força capaz de movimentar um sector dentado ou outro mecanismo de controle ou indicação. O tubo de Bourdon é chumbado à sua base restringente, de modo que a pressão exercida seja proporcional ao seu movimento. Sectores dentados ou outros mecanismos, como uma tira esticada, são usados para multiplicar a intensidade do movimento do tubo a fim de tornar mais fácil e exacta a leitura da medida. Cada arranjo requer cuidados para produzir um movimento linear do ponteiro sobre uma escala calibrada ou mecanismo de registo.

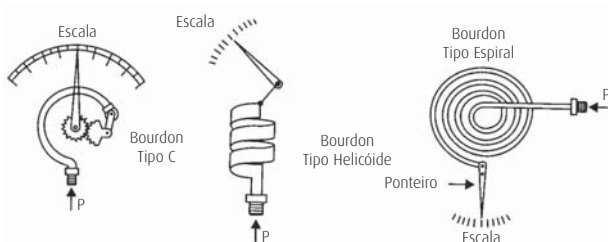


Figura 3 · Tipos de tubo de Bourdon mais comuns na indústria para medição de pressão

O manómetro de **diafragma ou membrana** é constituído por um disco, fixo pela periferia, e ao qual se aplica a pressão em um dos lados. A força resultante exercida sobre a superfície do disco provoca a sua deformação. O disco deste manómetro pode ser completamente liso, totalmente anelado, ou misto de anelado e liso como indicado na Figura 4.

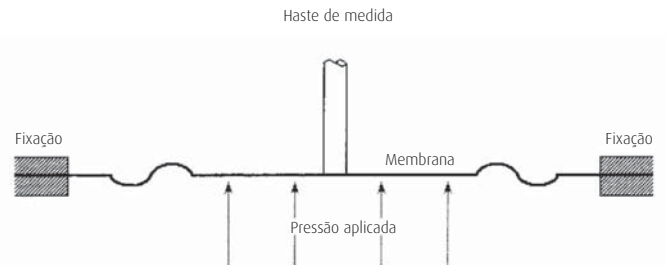


Figura 4 · Manómetro de membrana

Uma haste fixa no centro do disco está ligada ao mecanismo indicador que pode um sector dentado ou outro mecanismo, como nos tubos de Bourdon (Figura 5).

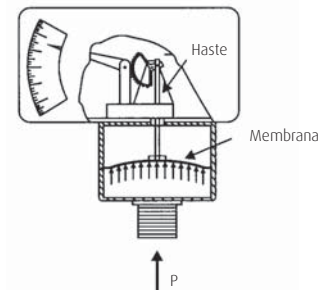


Figura 5 · Manómetro de membrana a ponteiro

O sistema projecta-se de tal modo que, ao aplicar pressão, o movimento aproxima-se de uma relação linear num intervalo de medida o mais amplo possível com o mínimo de histerese e desvio permanente no zero do instrumento. Os diafragmas têm sido usados tradicionalmente em manómetros para pressões relativamente baixas e medições de baixo vácuo.

O manómetro de **fole** é constituído por uma peça metálica com a forma de fole, que se deforma em função da pressão aplicada. O fole é elástico e poderá estar ligado a uma mola de restituição. A medição da deformação do fole faz-se recorrendo a um dos métodos já estudados e utilizados no manómetro de diafragma (Figura 6).

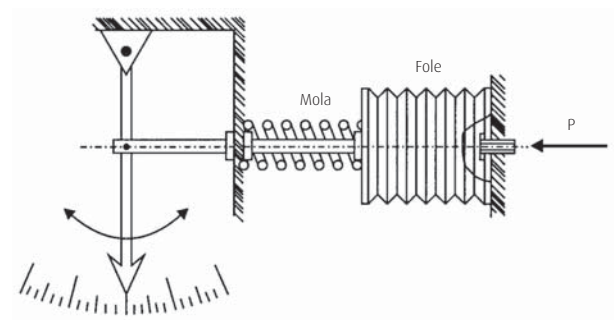


Figura 6 · Medidor de pressão do tipo fole

Os manómetros de fole utilizam-se em aplicações de baixa pressão e de preferência com gases. Nunca devem ser utilizados com líquidos viscosos, contendo resíduos sólidos ou que tenham possibilidade de se solidificar.

A **selecção do sensor de pressão** mais adequado para uma determinada aplicação deverá ser feita tendo em conta os seguintes parâmetros:

- Gama de pressões a medir;
- Fiabilidade do sensor/transmissor;
- Agressividade do meio em que vai ser instalado;
- Normalização da fábrica;
- Preço e facilidade de instalação e de manutenção;
- Simplicidade na utilização;
- Exactidão do sensor.

Como em outros tipos de sensores não é possível otimizar todos os parâmetros ao mesmo tempo. Assim é necessário optar por uma solução de compromisso. Na Tabela 3 são resumidas as características técnicas dos diferentes elementos mecânicos de pressão descritos anteriormente.

Tipo de manómetro	Gama de medida	Exactidão em % de final de escala	Pressão estática máxima	Linearidade	Estabilidade	Preço
Bourdon	0,5-6000bar	0,5-1%	6000bar	Variável	Boa	Médio
Fole	100mm cda - 2 bar	0,5-1%	2 bar	Linear	Boa	Médio
Diafragma	50mm cda - 2 bar	0,5-1%	2 bar	Linear	Boa	Médio/alto

Tabela 3 · Elementos mecânicos de pressão

**ELEMENTOS ELECTROMECHANICOS**

Os elementos electromecânicos de pressão utilizam um elemento mecânico combinado com um transdutor eléctrico que gera um sinal eléctrico correspondente. O elemento mecânico consiste num tubo Bourdon, diafragma, fole ou numa combinação dos mesmos que, através de um sistema de alavancas, converte a pressão numa força ou num deslocamento mecânico. Os elementos electromecânicos classificam-se segundo o princípio de funcionamento:

- Piezorresistivo;
- Capacitivo.

O **sensor piezorresistivo** consiste numa ponte de Wheatstone formada a partir de um monocristal de silício com boro difundido. Uma fonte de corrente constante alimenta o sensor e um amplificador converte a tensão gerada pela pressão em corrente, de valor compreendido entre 4 mA ~ 20 mA. A corrente de saída é proporcional à pressão aplicada ao transmissor (Figura 7). O **sensor piezorresistivo** é de baixo custo; robusto e de tamanho reduzido. O sinal de resposta a uma variação de pressão é linear e são adequados para medidas dinâmicas. Em que a frequência de resposta é rápida, pode ir até um milhão de ciclos por segundo. Tem a desvantagem de ser sensível às mudanças de temperatura e de ser necessário o ajuste de impedância e deslocamento do zero após um forte choque.

O **sensor capacitivo** consiste em dois condensadores variáveis formados por duas armaduras fixas H e L e por um diafragma móvel. O diafragma está colocado no meio das armaduras e ao mover-se por acção da diferença de pressão ( $\Delta P = HP - LP$ ) provoca uma variação na capacidade dos condensadores que é transformada numa variação de um sinal eléctrico (tensão ou corrente), que é proporcional à pressão aplicada. (Figura 8). As vantagens dos transdutores capacitivos de pressão são de frequência de

resposta muito boa, simplicidade relativa na construção, baixo custo, utilidade em medições estáticas e dinâmica, deslocamento volumétrico pequeno para uma massa mínima de diafragma e resolução contínua. As desvantagens são as mesmas que os sensores piezorresistivos, além da necessidade de balanceamento reactivo e resistivo.

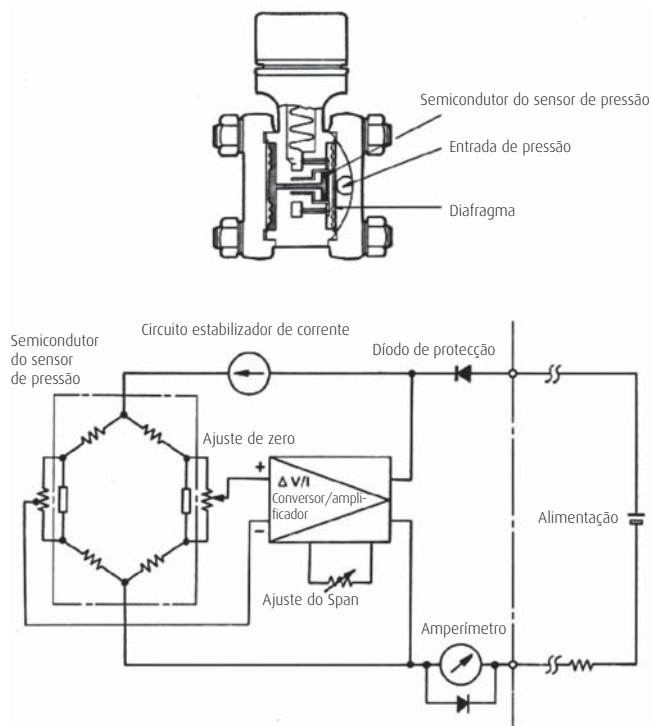


Figura 7 · Corpo com sensor de pressão e diagrama eléctrico simplificado

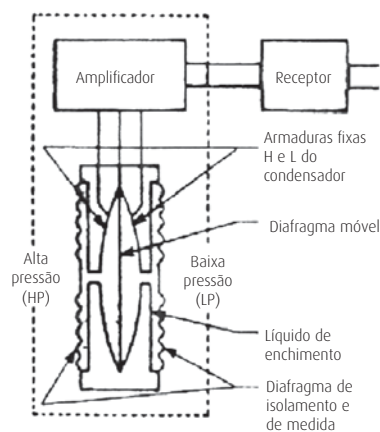


Figura 8 · Diagrama de blocos

Na Tabela 4 podem observar-se as características dos elementos electromecânicos descritos anteriormente:

	Gama em bar	Exactidão em % de final de escala	Estabilidade no tempo	Sobrecarga	Temp. max. de funcionamento °C	Sinal de saída	Impedância de saída	Erro de zero por influência da temperatura ambiente	Resolução	Senbilidade a vibrações
Piezorresistivo	0,1-600	1	Má	200%	107	2-10 V	600 Ω	0,4-1%	Contínua	Desprezível
Capacitivo	0,05-5 a 0,05-600	1	Meda a boa	150%	150	0-5 V	5 kΩ	0,5-1,9%	Contínua	Média

Tabela 4 · Características dos elementos electromecânicos