

PTC3421 – Instrumentação Industrial

# Pressão – Parte I

---

V2020A

PROF. R. P. MARQUES

# Conceitos & Definições

---

## DEFINIÇÃO DE PRESSÃO

*Pressão é a força aplicada perpendicularmente à superfície de um objeto por unidade de área da superfície sobre a qual ela é aplicada.*

Ou seja:  $p = F/A$

Assim, a unidade de pressão é a unidade de força dividida pela unidade de área.

No SI: [F]: N (Newton)  
[A]:  $m^2$

[p]: Pa (Pascal);  $N/m^2$

Outras unidades psi ( $lb \cdot f/pol^2$ ), bar, etc.

# Conceitos & Definições

---

## OUTRAS DEFINIÇÕES ÚTEIS

**Pressão relativa:** É extremamente comum que se deseje a pressão como medida em relação a uma pressão de referência.  
Na Indústria a referência usual é a pressão atmosférica.

**Pressão absoluta:** É a pressão medida em relação ao vácuo.

Essa distinção é importante porque na maioria das situações a variável que é realmente de interesse é a pressão relativa (em relação à atmosfera).

Além disso, a maioria dos sensores é capaz de medir pressão relativa.

# Conceitos & Definições

---

O uso de pressões relativas é tão preponderante na Indústria, que quando se diz apenas **pressão** está a se tratar de **pressão relativa**.

Ao se tratar de **pressão absoluta** se diz sempre “**pressão absoluta**” (explicitamente) e é usual acrescentar “a” à unidade (e.g. psia).

Com relação à pressão (relativa) são comuns os termos

<b>PRESSÃO POSITIVA</b>	pressão maior que a atmosférica (ou de referência)
<b>PRESSÃO NEGATIVA</b>	pressão menor que a atmosférica (ou de referência)
<b>VÁCUO</b>	pressão negativa (usualmente para pressões absolutas bem menores que a atmosférica)

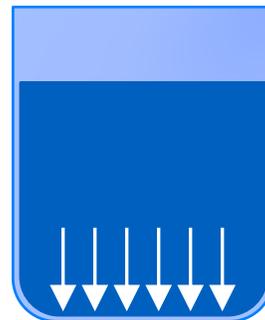
# Conceitos & Definições

---

Quando se trata da pressão exercida por fluídos, diferenciamos dois casos:

**PRESSÃO ESTÁTICA:** Pressão exercida por um fluído em repouso (ou em movimento, desde que este seja ortogonal à superfície).  
Em geral é associada ao peso do fluído sobre a superfície.  
Em se tratando de água, às vezes é chamada pressão hidrostática.

Exemplo: Um tanque

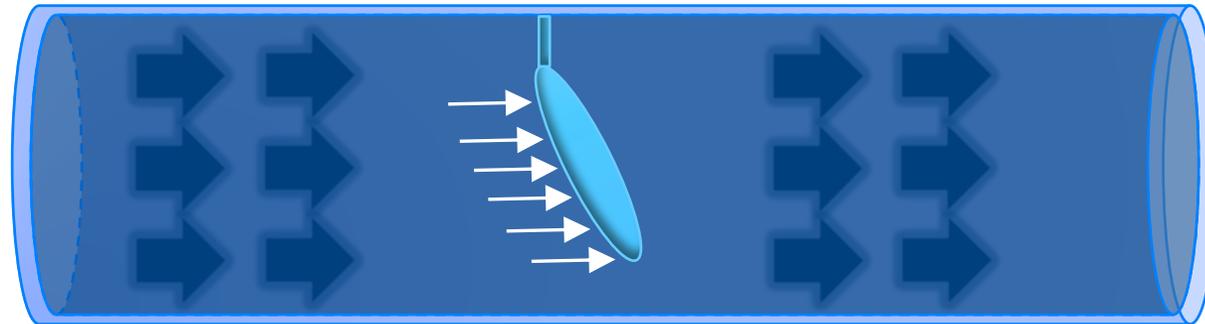


# Conceitos & Definições

---

**PRESSÃO CINEMÁTICA:** Pressão exercida por um fluido em movimento sobre uma superfície. Em geral é associada à quantidade de movimento de um fluido em fluxo.  
OBS.: Também chamada **pressão dinâmica**.

Exemplo: Um flap (palheta) numa tubulação.



# Conceitos & Definições

---

## **PRESSÃO ESTÁTICA vs PRESSÃO CINEMÁTICA**

A rigor pressão estática é uma grandeza escalar, enquanto pressão cinemática é uma grandeza vetorial (v. princípio de Pascal a seguir).

A maioria dos sensores de pressão não é capaz de distinguir uma da outra, e arranjos devem ser feitos para não confundir os fenômenos.

Exemplo: Medindo a pressão perpendicularmente ao fluxo em uma tubulação, minimiza-se a influência da pressão cinemática.

# Conceitos & Definições

---

## **PRESSÃO DIFERENCIAL ( $\Delta p$ )**

Diferença de pressão entre dois pontos de medida.

Pressão diferencial é uma grandeza muito utilizada em processos, instrumentação e controle, pois diversas formas de medir vazão, nível, densidade, etc. fazem uso de pressão diferencial.

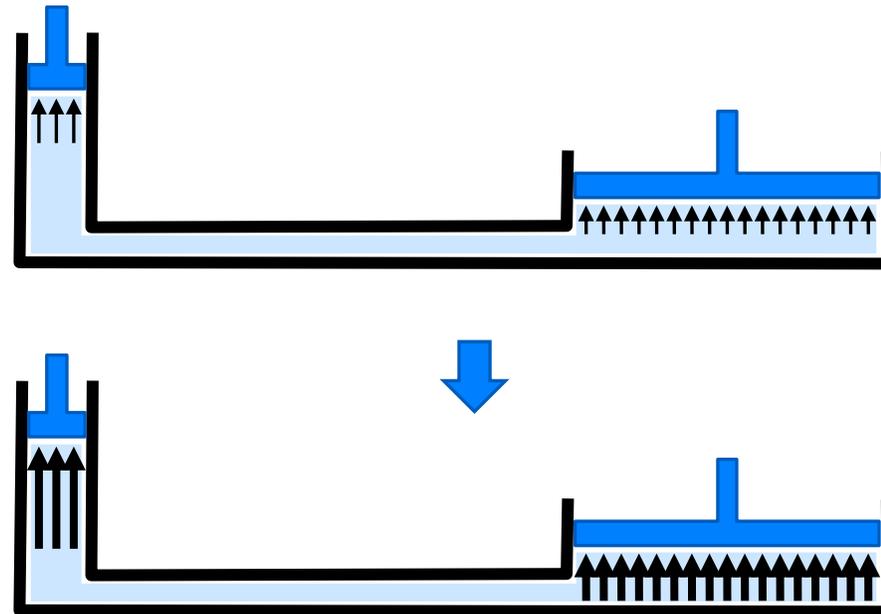
Se um dos pontos mede a pressão atmosférica, pressão diferencial e pressão relativa se confundem.

# Conceitos & Definições

---

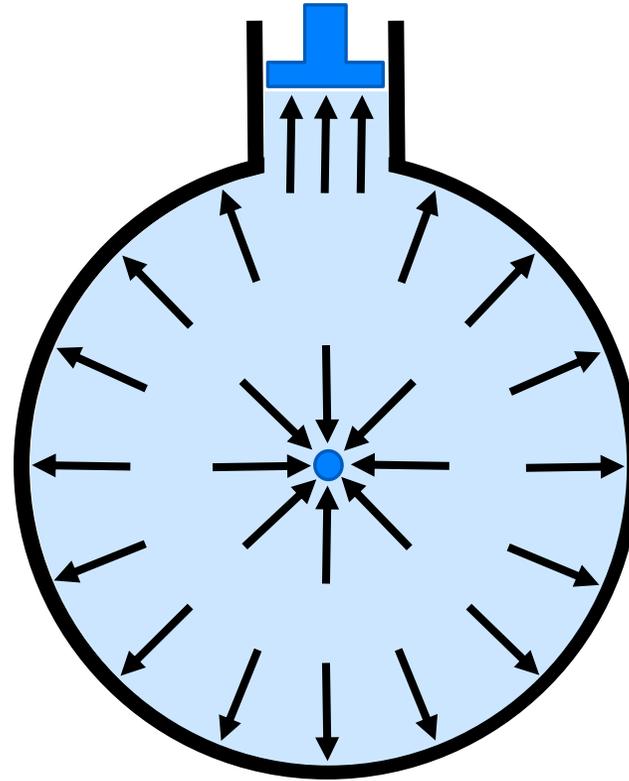
## LEI DE PASCAL (1652)

Uma mudança de pressão em qualquer ponto em um fluido estático e confinado se transmite integralmente a todos os pontos do fluido.



# Conceitos & Definições

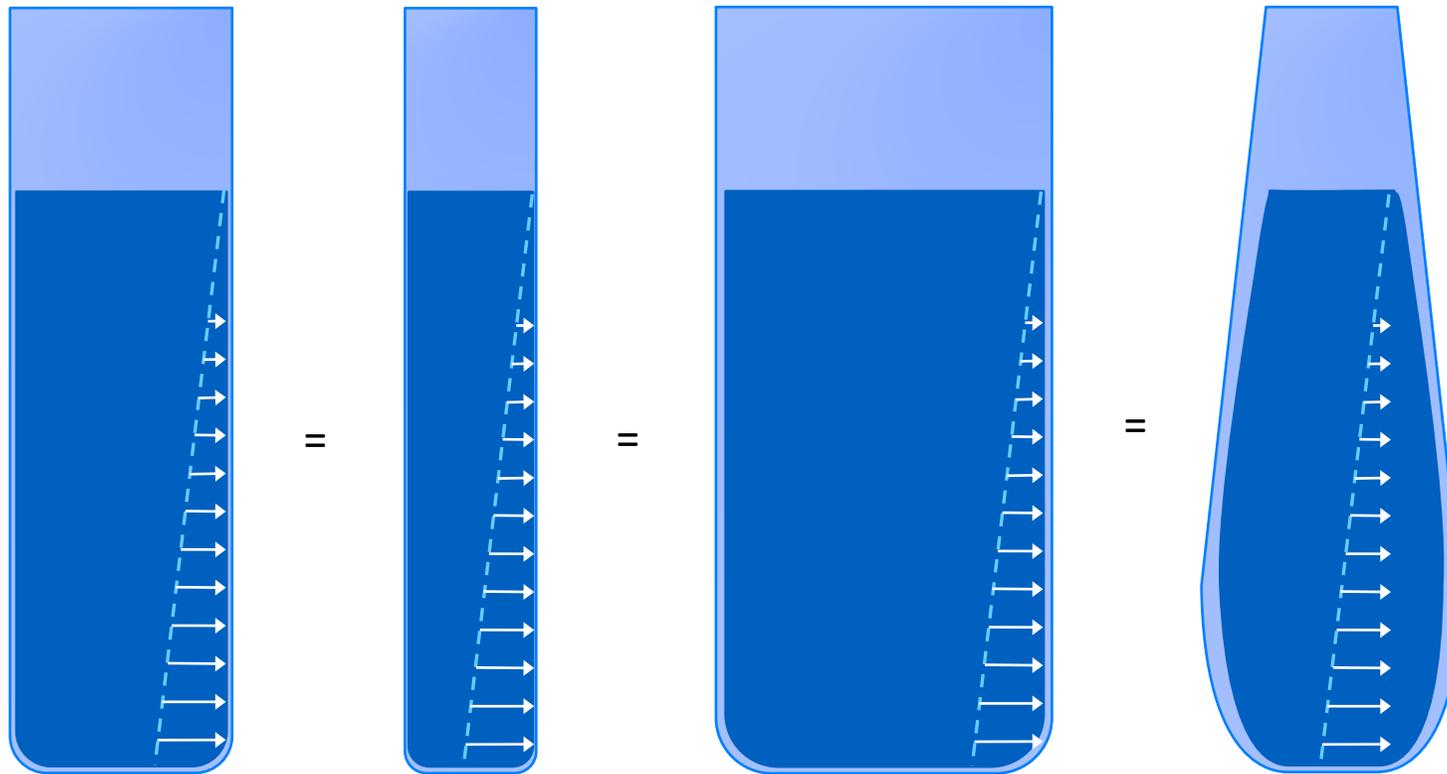
---



# Conceitos & Definições

## PARADOXO HIDROSTÁTICO DE STEVIN (1586)

A pressão estática depende apenas da profundidade (i.e. não depende do tamanho ou da forma do recipiente).



# Conceitos & Definições

---

De forma que

$$p = \rho g h,$$

$p$  é a pressão estática relativa (Pa).

$\rho$  é a densidade do fluido incompressível ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$g$  é a aceleração da gravidade ( $\text{m}/\text{s}^2$ ).

$(\rho g) = \mu$  é o peso específico do fluido ( $\text{N}/\text{m}^3$ ).

$h$  é a profundidade (m)

às vezes referida como **altura da coluna de fluido**.

Esta relação é usualmente chamada de **Lei de Stevin**.

# Medidas de Pressão

---

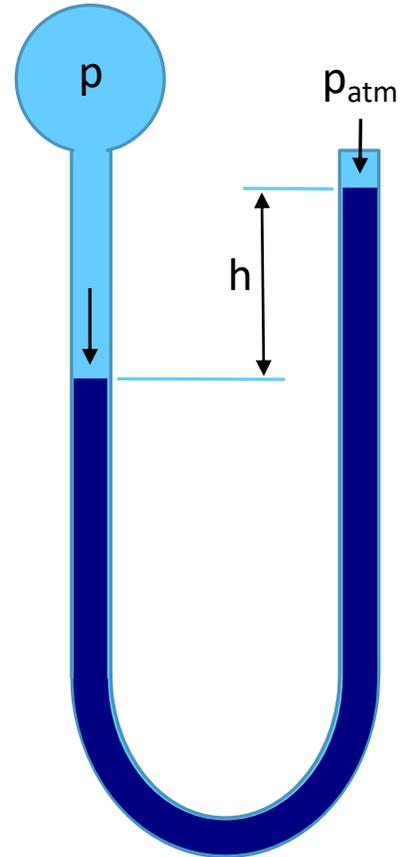
Industrialmente, a forma típica de medição de pressão é por meios mecânicos, distinguindo-se:

- Coluna líquida;
- Elementos elásticos:      Tubos de Bourdon (os mesmos das medidas de temperatura);  
   Foles;  
   Diafragmas e cápsulas.

# Coluna Líquida

---

TUBO EM "U"

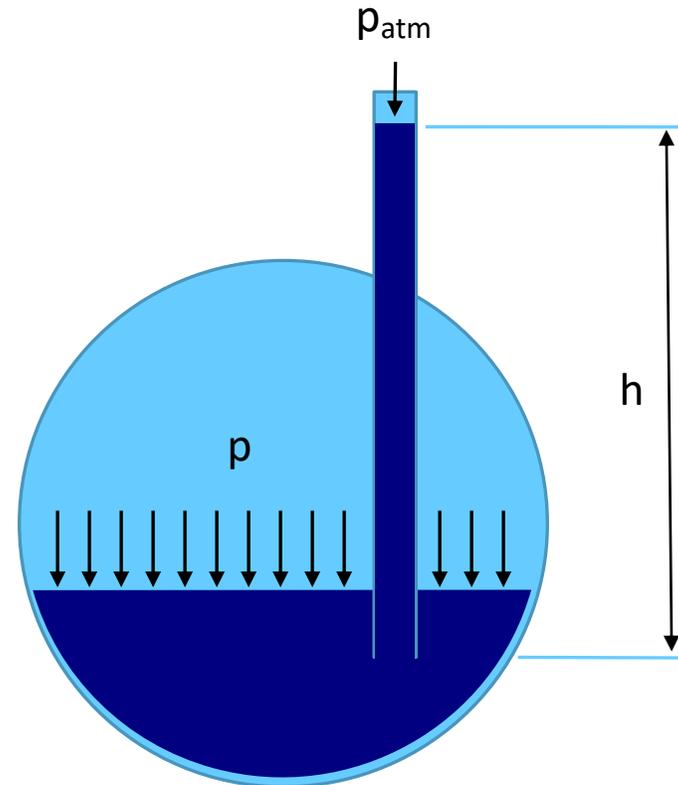


A altura  $h$  é proporcional à diferença de pressão entre  $p$  e  $p_{atm}$ .

# Coluna Líquida

---

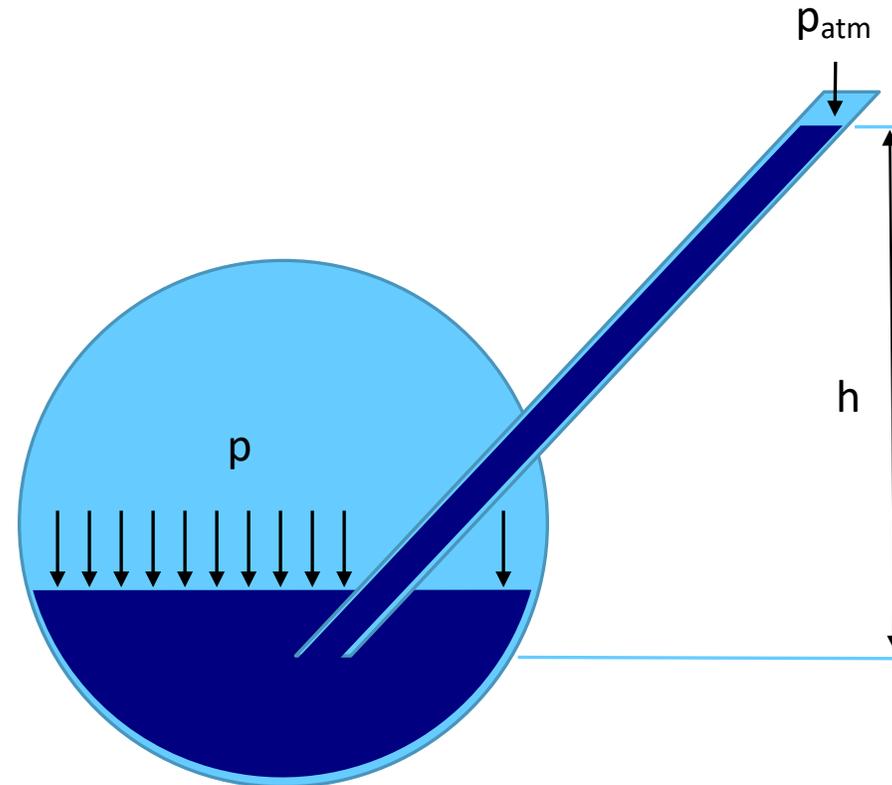
## TUBO RETO



A altura  $h$  é proporcional à diferença de pressão entre  $p$  e  $p_{atm}$ .

# Coluna Líquida

## TUBO INCLINADO

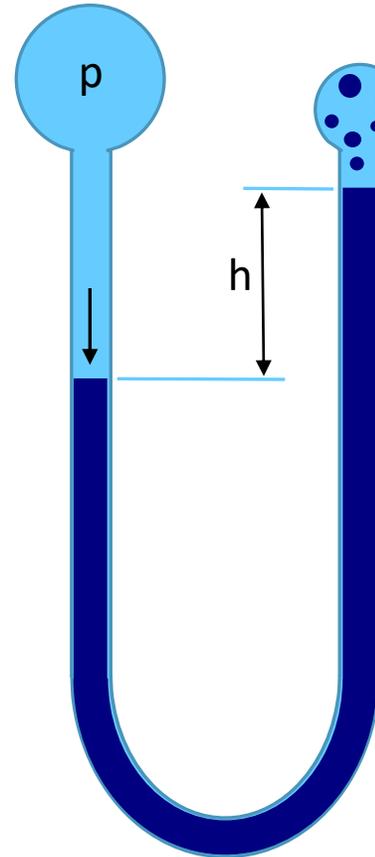


A inclinação proporciona maior precisão na leitura.

# Coluna Líquida

## Observações

### PRESSÃO ABSOLUTA



Não é possível manter vácuo como pressão de referência no bulbo, pois o sistema entra em equilíbrio líquido-vapor. Efetivamente, a pressão no bulbo é a pressão de vapor do fluido à temperatura do sistema.

A altura  $h$  é uma expressão da pressão absoluta  $p$ , mas uma calibração da régua é necessária.

# Coluna Líquida

## Observações

---

Indicadores de pressão são chamados de **manômetros**.

Manômetros de coluna líquida se prestam apenas à indicação local, e não para transmissão ou automação e controle.

Como são extremamente robustos, são uma boa alternativa de medição auxiliar.

# Coluna Líquida

## Exemplos

---



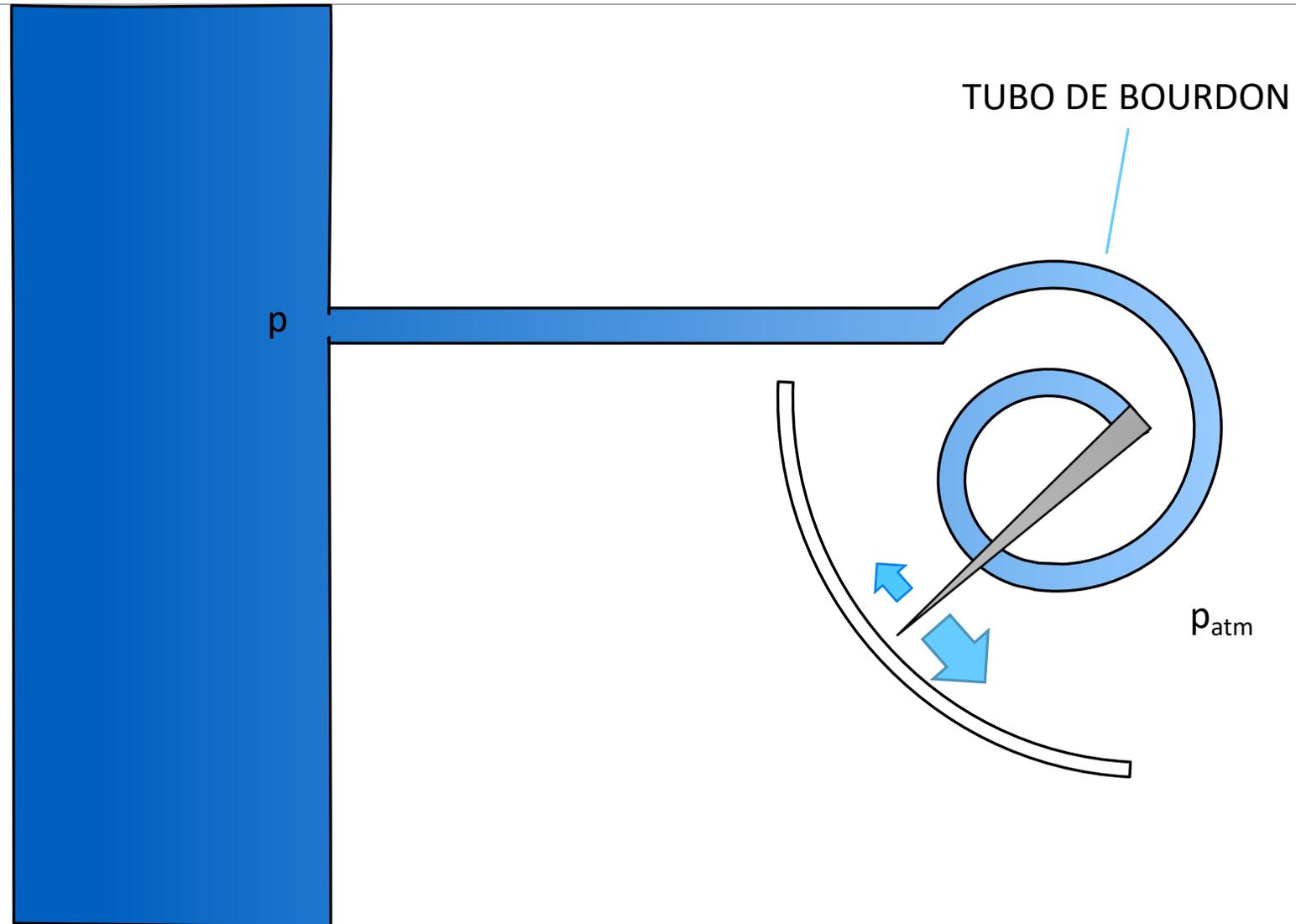
# Coluna Líquida

## Exemplos

---



# Tubos de Bourdon



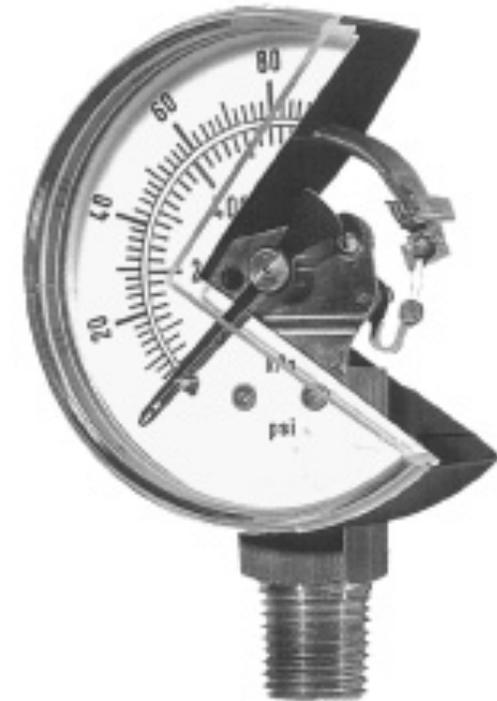
# Tubos de Bourdon

---

O uso natural dos tubos de Bourdon é para medidas de pressão (eles são usados para medir temperatura baseados na variação de pressão decorrente de variações de temperatura).

Tubos de Bourdon não se prestam diretamente para transmissão ou automação e controle, mas é simples obter um sinal a partir da indicação.

Valem todas as observações feitas anteriormente.



# Tubos de Bourdon

## Preenchimento com Líquido

---



# Tubos de Bourdon

## Preenchimento com Líquido

---

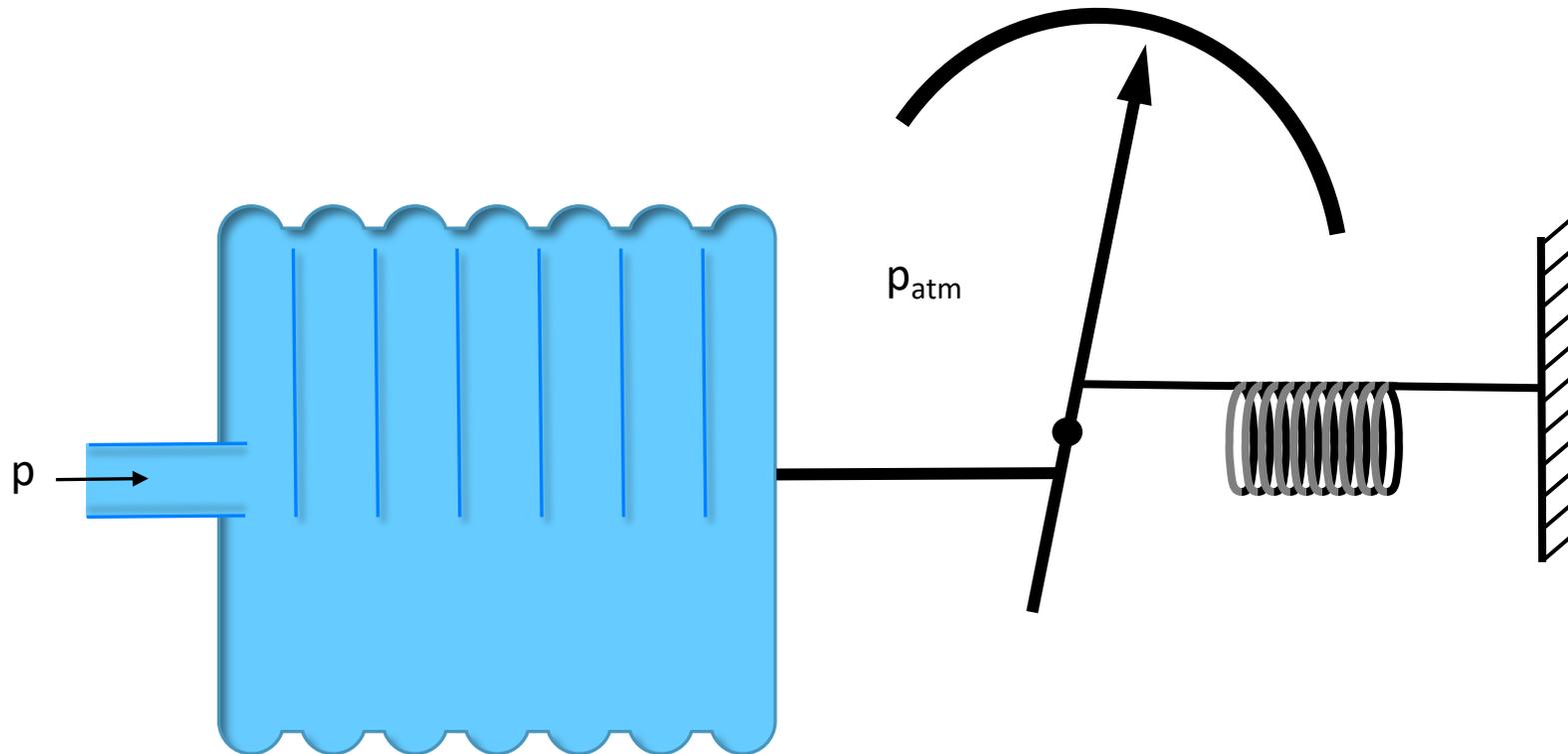
É comum o uso de manômetros de Bourdon preenchidos por líquido, que apresentam as seguintes vantagens:

- O líquido absorve vibrações que poderiam prejudicar a mecânica do instrumento;
- O líquido amortece o movimento da agulha, o que diminui oscilações da leitura e o efeito de picos de pressão;
- O líquido age como lubrificante das partes mecânicas;
- Líquidos não aquosos podem proteger o instrumento de corrosão, umidade (e consequente congelamento em baixas temperaturas) ou agir como isolantes elétricos (aumentando o grau de proteção do instrumento).

Exemplos:      **Glicerina** (-20°C a 60°C) – viscosidade 1118 cSt (a 18°C)  
                  **Halocarbon 0.8** (até -130°C) – viscosidade < 1,0 cSt

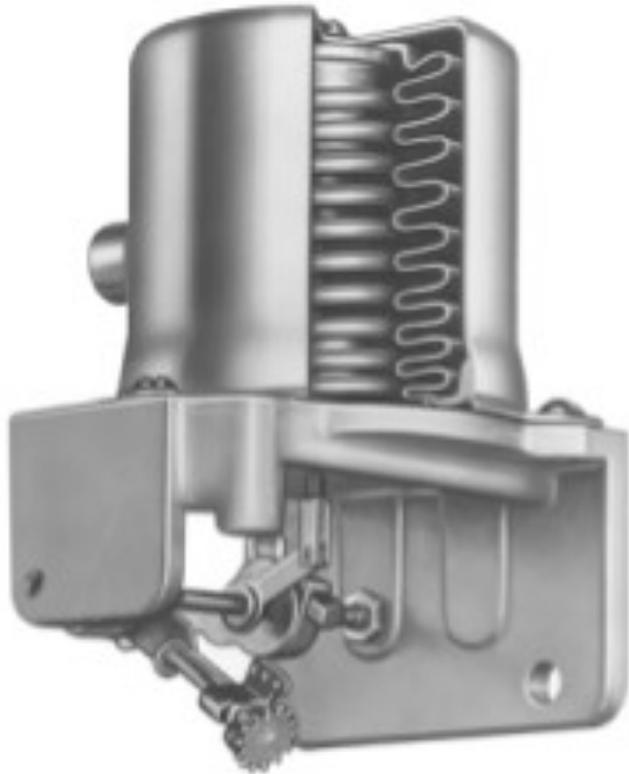
# Foles

## PRESSÃO RELATIVA



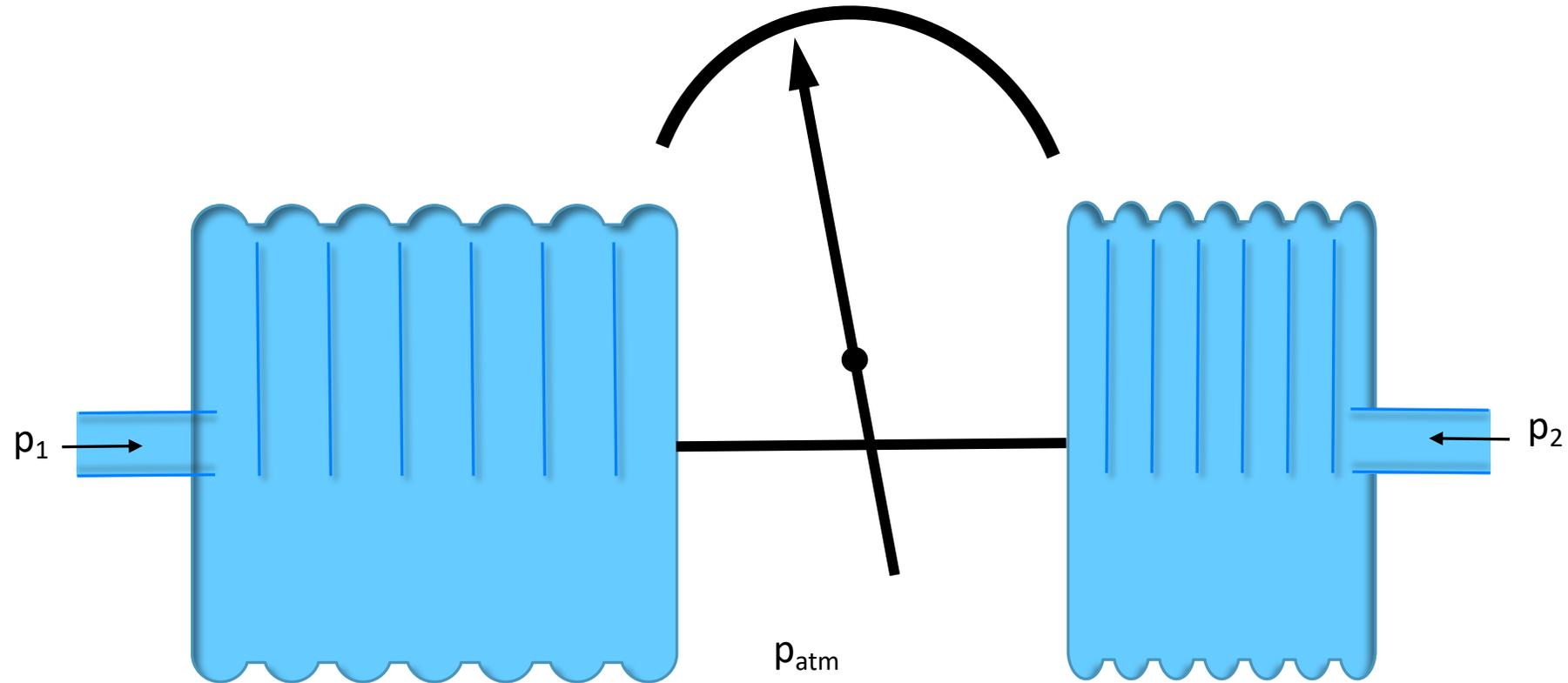
# Foles

## PRESSÃO RELATIVA



# Foles

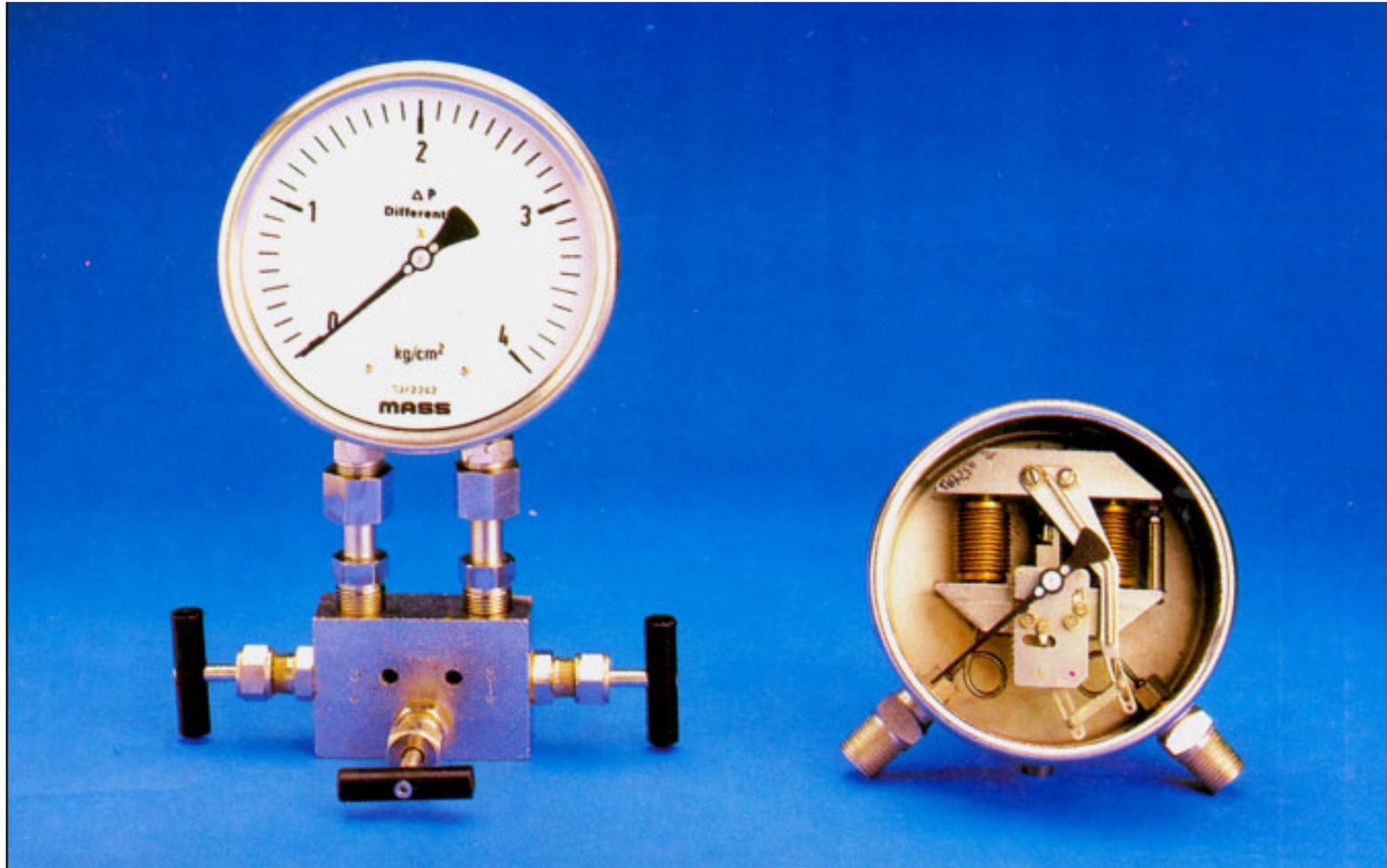
## PRESSÃO DIFERENCIAL



$$p_1 > p_2$$

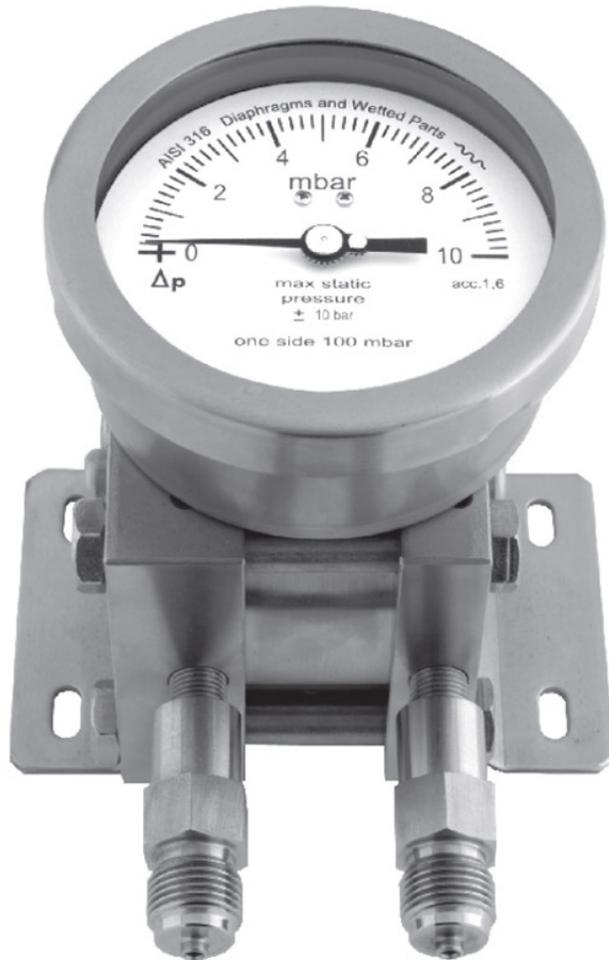
# Foles

## PRESSÃO DIFERENCIAL



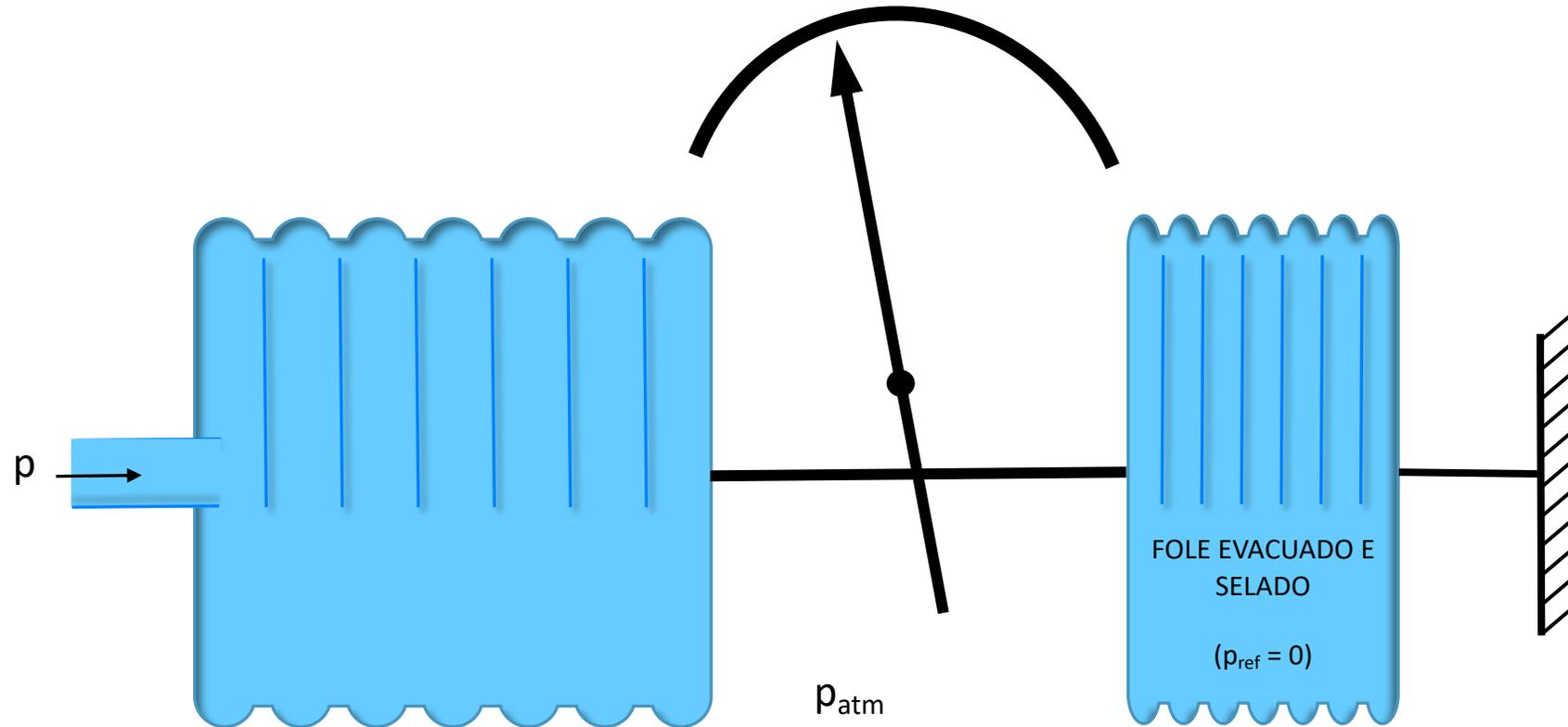
# Foles

## PRESSÃO DIFERENCIAL



# Foles

## PRESSÃO ABSOLUTA



$p$  é a pressão absoluta

# Foles

## PRESSÃO ABSOLUTA



# Foles

---

Foles não se prestam diretamente para transmissão ou automação e controle, mas é simples obter um sinal a partir da indicação.

Pelas próprias características mecânicas, foles são adequados para medir pressões mais elevadas (excursões pequenas dos foles põem em evidência fenômenos como atritos, histerese e não linearidades em geral).

Manômetros de fole, preferencialmente os diferenciais, também podem ser preenchidos com líquido.

A configuração de foles gêmeos para medir pressão diferencial é particularmente conveniente, e por isso eles são mais comuns na configuração diferencial.

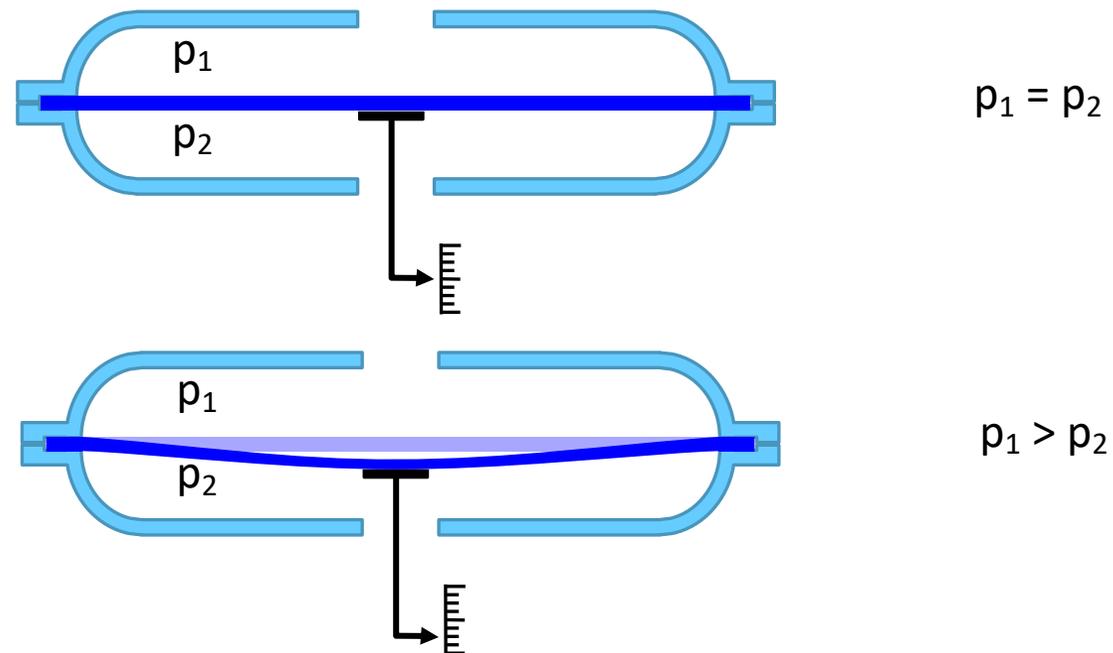
# Diafragma

## Fundamentos

Um diafragma é uma membrana, normalmente circular, fixada pelas bordas.

Na Indústria são utilizados principalmente diafragmas metálicos, cerâmicos e plásticos (teflon, nylon, polietileno, etc.).

A diferença de pressão entre os lados da membrana gera uma flexão cuja amplitude pode ser associada à referida diferença de pressão.



# Diafragma

## Características

---

O deslocamento mecânico associado a diferença de pressões é pequeno da ordem de milímetros ou frações de milímetro.

Por outro lado, pelas próprias características construtivas, é possível obter sensores de diafragma com as seguintes características:

- Alta robustez;
- Alta precisão;
- Alta sensibilidade;
- Adequado à medida de pequenas diferenças de pressão.

A flexão do diafragma é marcadamente não linear (isso pode ser mitigado parcialmente ajustando-se o perfil do diafragma), por isso diafragmas se adequam melhor a sensores baseados em tecnologia digital, onde a não linearidade pode ser facilmente compensada por uma curva característica de calibração, usualmente programada em fábrica. O mesmo pode ser feito com relação à histerese.

# Diafragma

## Características

---

Materiais adequados à faixa de pressão (e.g. metálicos para pressões mais altas ou plásticos para pressões mais baixas) ou o ambiente (e.g. materiais cerâmicos para ambientes corrosivos) podem ser utilizados.

Arranjos construtivos, similares aos dos foles, podem ser utilizados para medir pressões absolutas ou diferenciais.

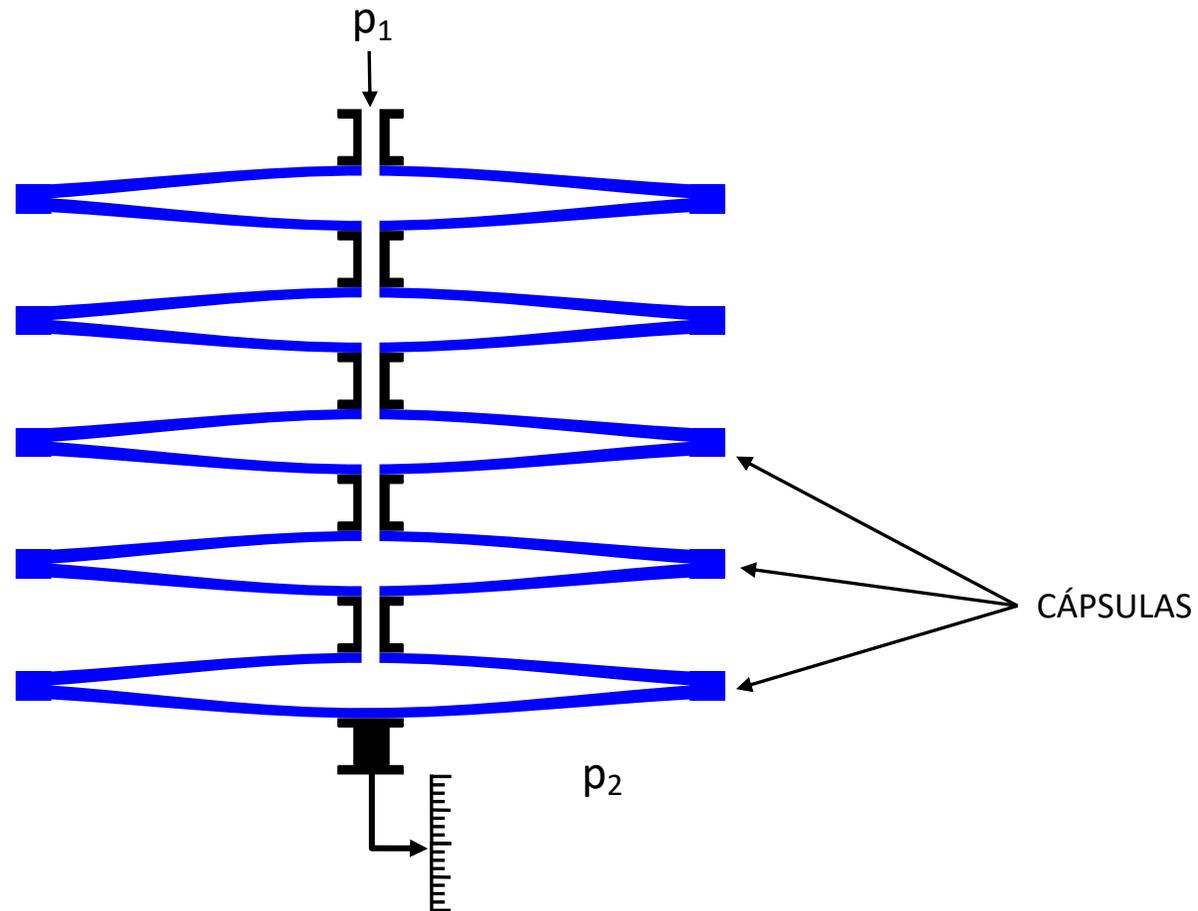
Pequenos e rígidos deslocamentos mecânicos são particularmente adequados a esquemas de conversão em sinais elétricos, tais como capacitores, LVDTs e extensômetros. Por isso sensores a diafragma são a opção primária para se construir transmissores de pressão.

Sensores de diafragma são usualmente menores que foles ou tubos de Bourdon.

# Diafragma

## Cápsulas

Pode-se aumentar o deslocamento mecânico associando dois diafragmas em uma cápsula e empilhando-as.



# Diafragma

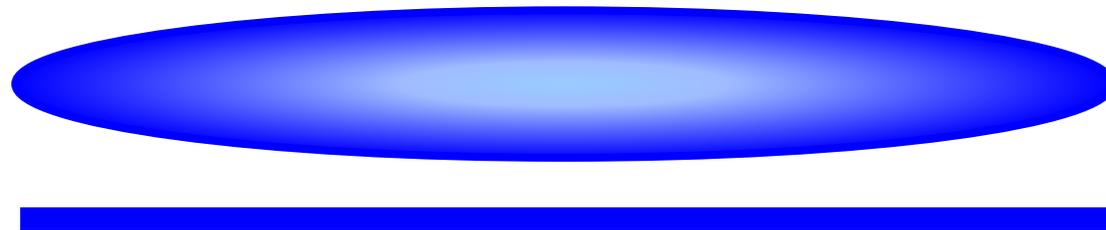
## Perfis corrugados

---

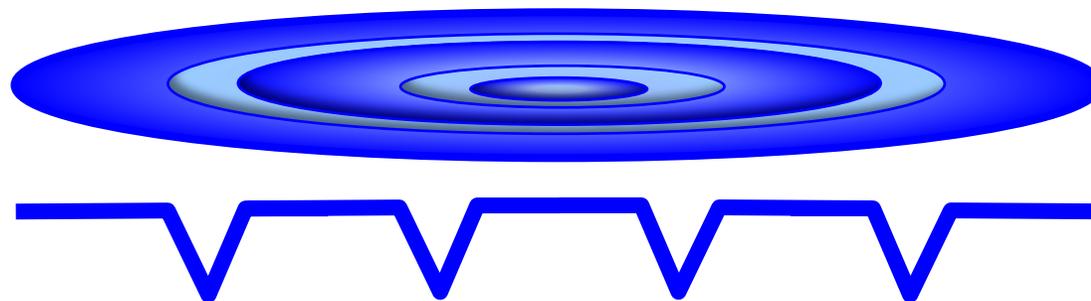
Os diafragmas, especialmente os metálicos, podem ser planos ou corrugados.

Os diafragmas corrugados contêm corrugações concêntricas de perfis variados que servem para aumentar a resistência e melhorar a resposta, tanto do ponto de vista da sensibilidade como da mitigação de não linearidades, incluindo histerese.

DIAFRAGMA PLANO



DIAFRAGMA CORRUGADO



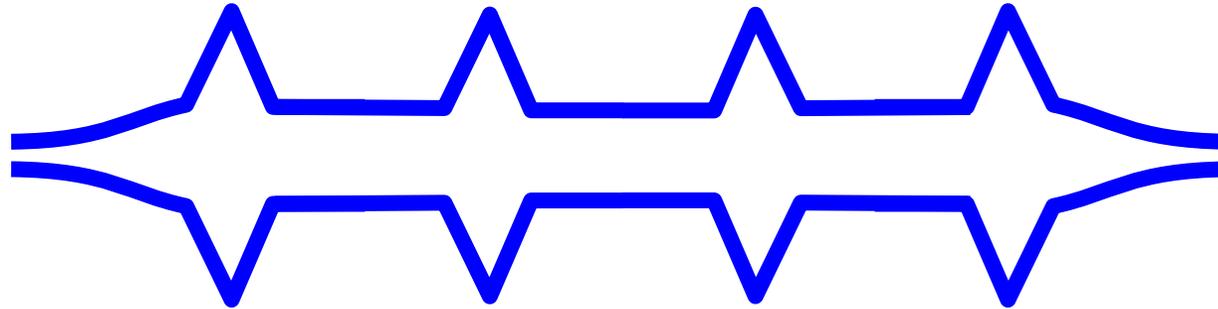
# Diafragma

## Perfis corrugados

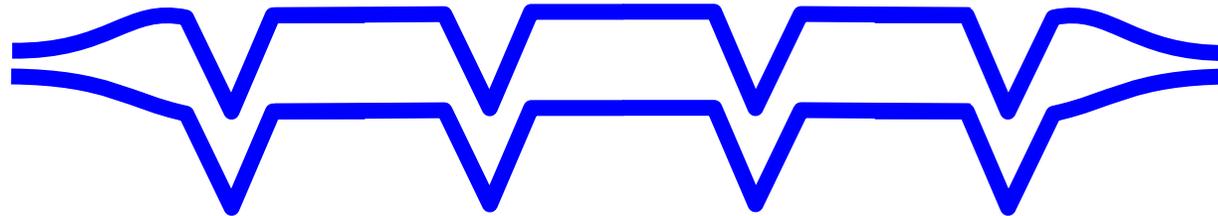
---

As cápsulas podem ser convexas ou aninhadas.

CÁPSULA CONVEXA



CÁPSULA ANINHADA



As cápsulas convexas têm características mecânicas que favorecem a medição de pressão (devido à simetria dos diafragmas), porém as cápsulas aninhadas resistem mais a sobrepressões externas.

# Diafragma

## Exemplos

---



# Diafragma

## Exemplos

---



# Diafragma

## Exemplos

---



# Cápsulas

## Exemplos

---

