

PTC3421 – Instrumentação Industrial

# Nível – Parte III

---

V2020B

PROF. R. P. MARQUES

# Deslocadores

---

## O PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES (circa 250 AC)

Um corpo (total ou parcialmente) imerso num fluido sofre a ação de uma força flutuadora vertical igual ao peso do fluido deslocado pela imersão do corpo.

Chamamos essa força, aplicada no centro de massa do volume deslocado, de **EMPUXO**.

$$E = \mu V$$

$E$  [N]                      empuxo;

$\mu$  [N/m<sup>3</sup>]                      peso específico do fluido;  
 $V$  [m<sup>3</sup>]                              volume (imerso) do corpo.

# Deslocadores

---

Em resumo:

Se um corpo tem densidade menor do que a do fluído, ele flutua.  
Trata-se de um **flutuador** como os vistos anteriormente.

Se um corpo tem densidade maior do que a do fluído, ele afunda.  
Para os nossos objetivos, chamaremos esse corpo de **deslocador** (displacer).

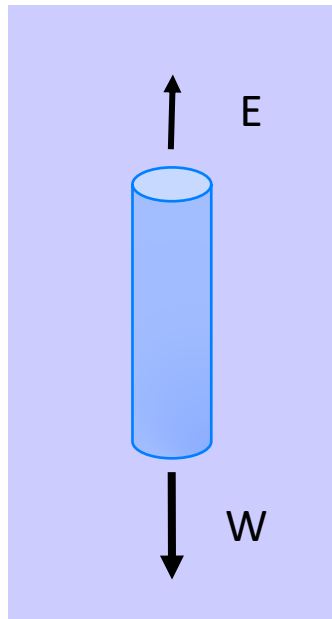
Deslocadores são usualmente corpos cilíndricos ocos feitos de materiais que vão de plásticos e teflon até ligas inoxidáveis.

O preenchimento de um deslocador com diferentes substâncias (sólidos granulados, fluídos diversos, ar ou vácuo) faz variar o seu peso e afeta sua flutuabilidade.

# Deslocadores

---

Para um deslocador de volume  $V$  e peso específico  $\mu_c$ , imerso num fluido de peso específico  $\mu_f$ :



Peso do deslocador:  $W = \mu_c V$

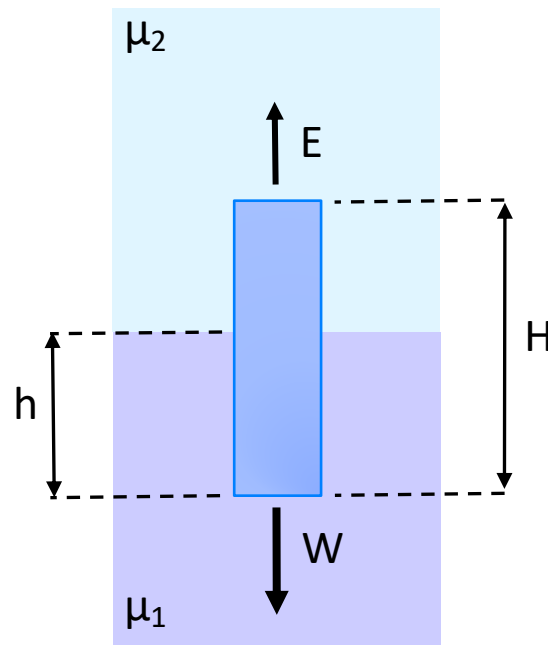
Empuxo:  $E = \mu_f V$

A força resultante, que tem o mesmo sentido da força peso do deslocador (afinal ele afunda), será denominada **peso aparente do deslocador** ( $W_A$ ).

Peso aparente:  $W_A = (\mu_c - \mu_f) V$

# Deslocadores

Nos interessa a situação em que o deslocador (de altura  $h$  e peso  $W = \mu_c V$ ) está parcialmente imerso em fluídos de pesos específicos  $\mu_1$  e  $\mu_2$ .



Empuxo:

$$E = E_1 + E_2$$

$$E_1 = \mu_1 V h/H$$

$$E_2 = \mu_2 V (H - h)/H$$

Peso aparente:

$$W_A = W - \mu_1 V h/H - \mu_2 V (H - h)/H$$

Medindo-se o peso aparente  $W_A$  do deslocador, pode-se inferir o nível do fluído a partir de  $h$ .

# Deslocadores

---

Obviamente o deslocador deve ser suspenso para não afundar.

O peso aparente  $W_A$  é tal que

$$W - \mu_1 V \leq W_A \leq W - \mu_2 V$$

$$\text{Deslocador no fluído 2: } W_A = W - \mu_2 V$$

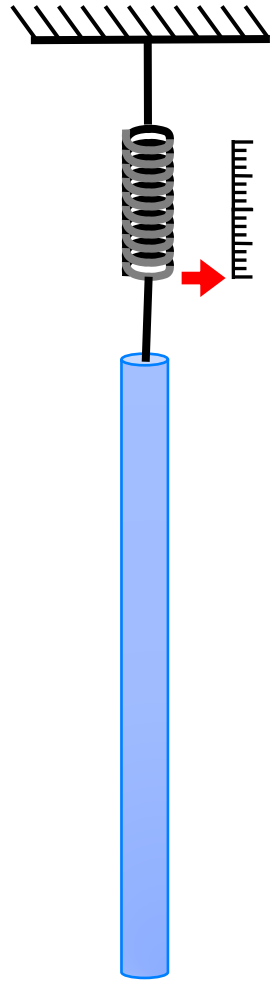
$$\text{Deslocador no fluído 1: } W_A = W - \mu_1 V$$

Se o fluído 2 for ar à pressão atmosférica,  $\mu_2 V \approx 0$  e  $W_A = W$ .

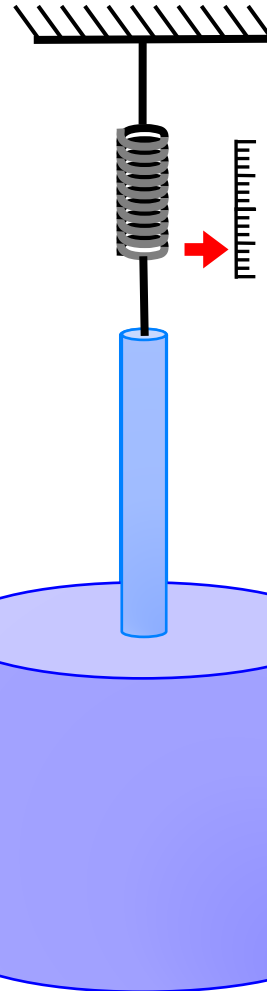
O deslocador só é efetivo para medir o nível enquanto não estiver totalmente imerso no fluído 1, portanto o comprimento do deslocador fornece o alcance da medida, enquanto a combinação de posição do deslocador e de seu comprimento fornece a faixa operacional. (para se medir variações de nível de 10m em um tanque é necessário um deslocador ou associação de deslocadores de pelo menos 10m de comprimento).

# Deslocadores

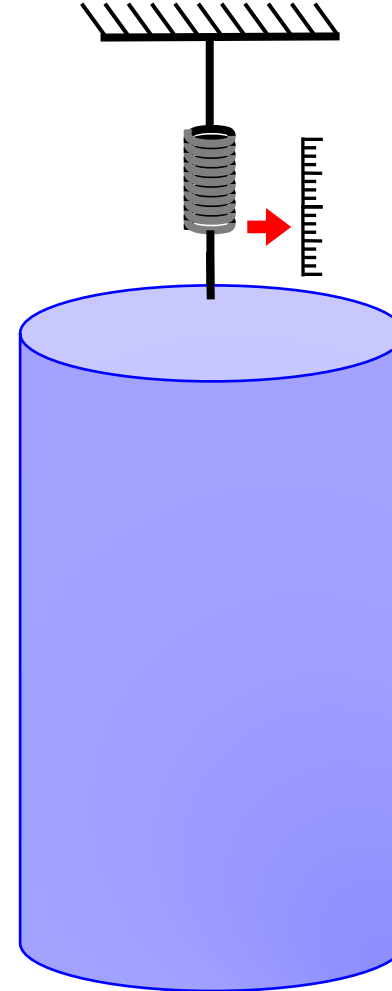
## Mola Balanceadora



$$W_A = W$$



$$W - \mu_1 V < W_A < W$$



$$W_A = W - \mu_1 V$$

# Deslocadores

## Mola Balanceadora

---



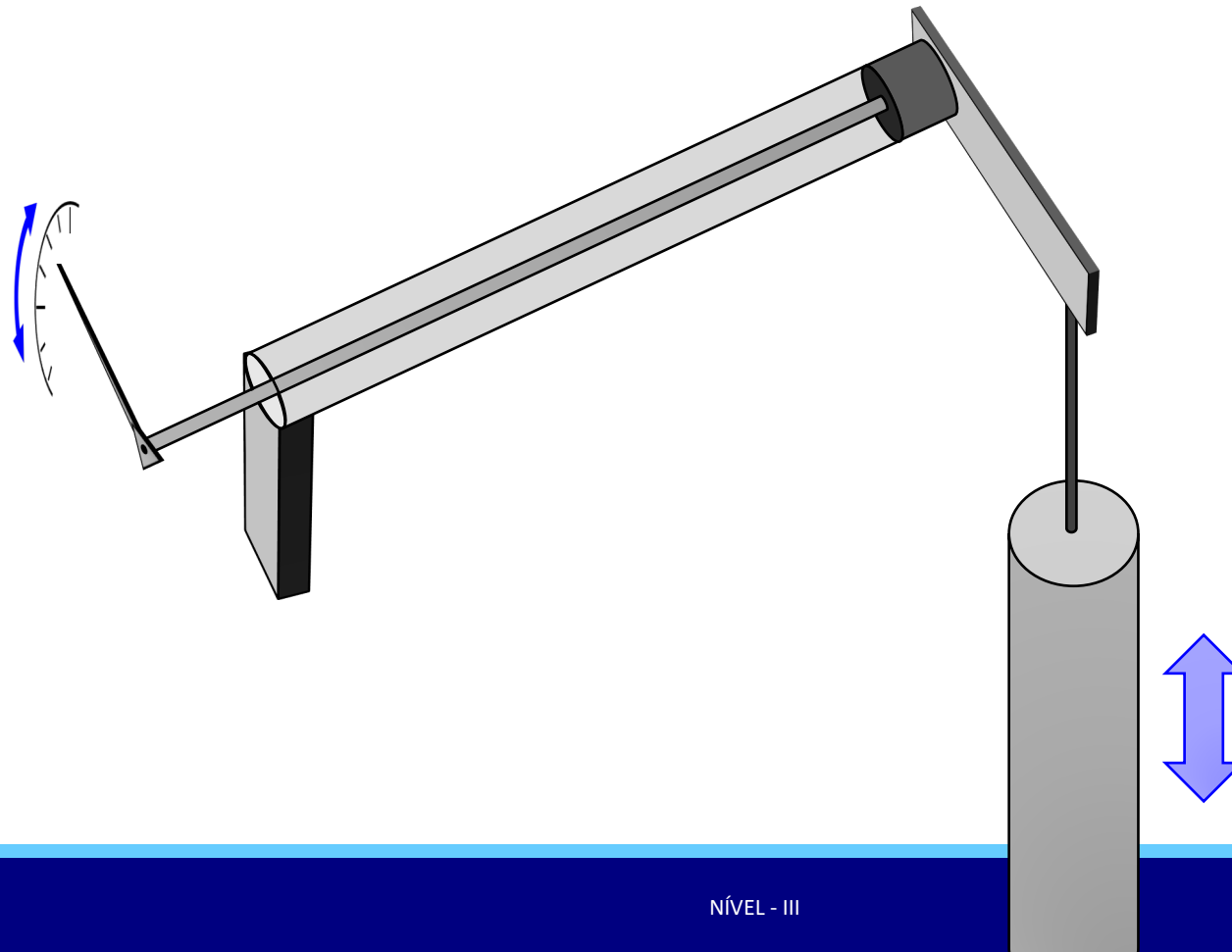


# Deslocadores

## Tubo de Torque

---

Um arranjo bastante popular é o de tubo de torque, no qual o deslocador é suportado por uma alavanca que torciona um tubo metálico gerando um deslocamento angular proporcional ao peso aparente do deslocador.



# Deslocadores

## Tubo de Torque

---

Tubos de torque geram deslocamentos lineares muito menores que as molas balanceadas e apresentam melhor comportamento mecânico (mais rigidez, mais repetibilidade, menos histerese, etc.).

Adicionalmente, o tubo de torque age como um elemento de vedação que dispensa juntas ou anéis de vedação.



# Pressão

---

Recapitulando, a Lei de Stevin nos diz que a pressão estática em um reservatório é dada por

$$p = \mu h,$$

onde  $\mu$  é o peso específico do fluido e  $h$  a altura da coluna do fluido (da qual pode-se obter o nível).

Assim sendo um sensor de pressão pode ser calibrado para medir nível ao invés de pressão estática.

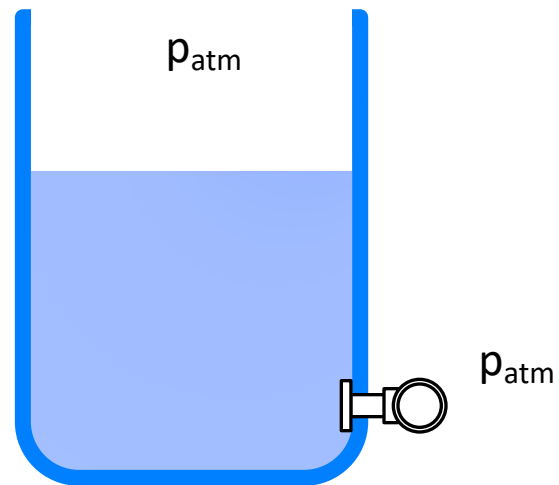
É importante notar que a relação nível – pressão depende do peso específico do fluido, que deve ser estimado ou conhecido.

# Pressão

## Tanques Abertos

---

Para tanques abertos, a pressão de referência é a pressão atmosférica, que é a mesma tanto para o topo do tanque como para o corpo do sensor.



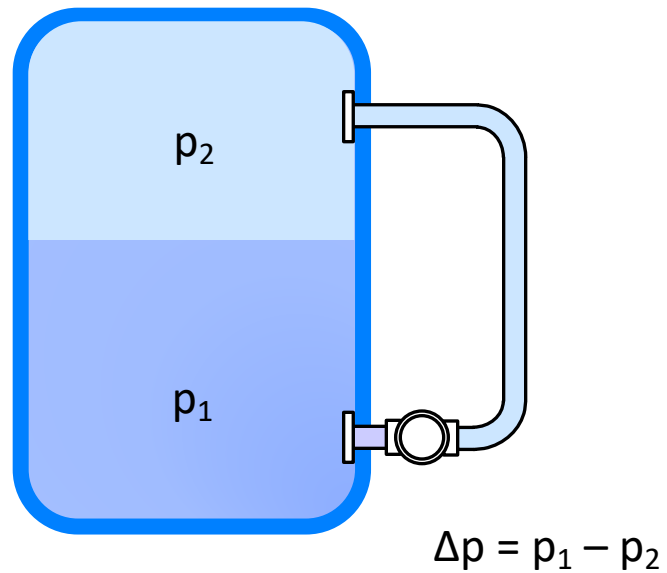
# Pressão

## Tanques Pressurizados

---

Para tanques pressurizados, é necessário usar a pressão diferencial entre o topo do tanque e a tomada do sensor de fundo.

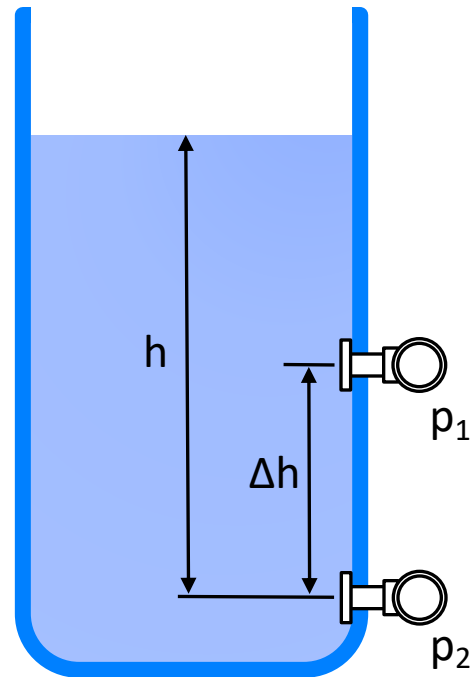
Caso a pressão afete a densidade do líquido, é necessário compensar a leitura.



# Pressão

## Tanques Abertos

Para tanques em que a densidade do fluido pode variar muito (e.g. Indústria alimentícia), um arranjo de dois sensores pode estimar a densidade.



A diferença de quotas  $\Delta h$  é um valor conhecido.

Daí

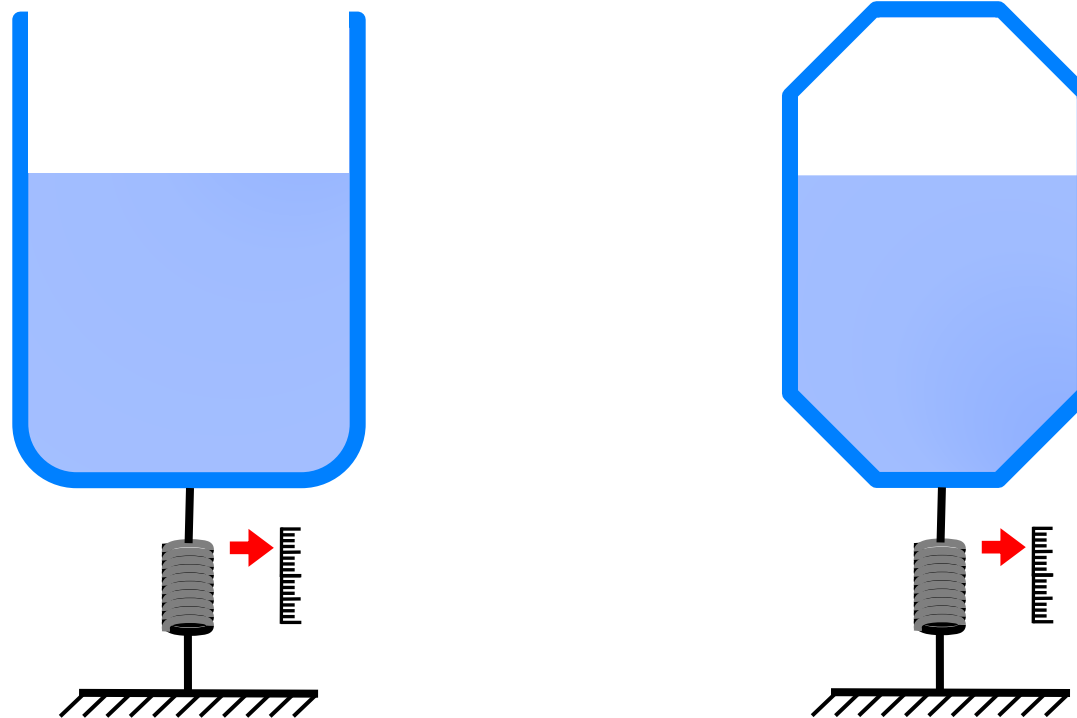
$$p_2 - p_1 = \mu \Delta h \quad \text{e} \quad \mu = (p_2 - p_1) / \Delta h.$$

Com isso

$$h = p_2 / \mu.$$

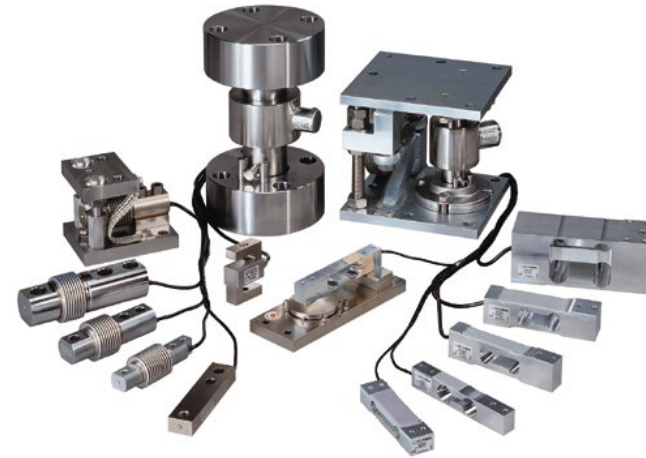
# Pesagem

Pode-se utilizar o peso do líquido ou sólido no tanque para inferir o nível. A medida, usualmente para tanques de menor porte, pode ser feita por dinamômetros ou células de carga. A estimativa do nível é afetada pela densidade do fluido e pelo perfil do tanque. Uma vantagem é que o método é não invasivo.



# Pesagem

---





# Densidade da Água

---

Os métodos vistos acima (deslocadores, pressão e pesagem) exigem que se conheça o peso específico do fluido para se obter o nível.

O peso específico depende da aceleração da gravidade e da densidade do fluido.

Salvo para tanques embarcados e sujeitos à movimentação intensa, a aceleração da gravidade para um dado local pode ser considerada constante.

A densidade de sólidos pode depender de uma série de fatores: tamanho dos grãos ou particulados, compactação do material (afetada também pela vibração), etc.

A densidade de líquidos pode ser afetada pela pressão (no caso de líquidos compressíveis) e especialmente pela temperatura.

Vejamos o caso do mais típico dos líquidos: a água.

# Densidade da Água

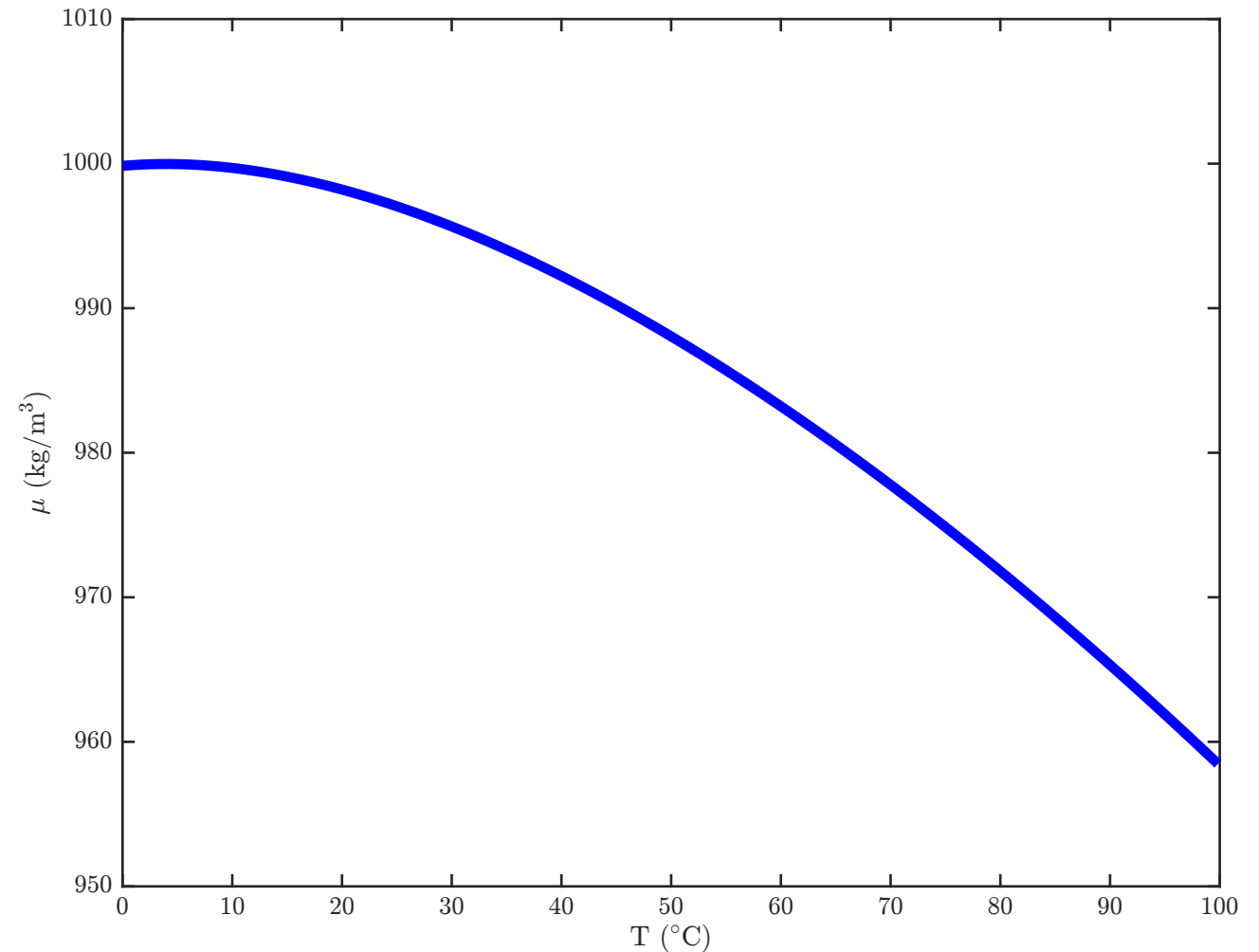
## Variação com Temperatura

A densidade da água ao nível do mar é dada no gráfico ao lado.

Notem que há uma variação de aproximadamente 4% entre 0°C e 100°C.

Esta variação é significativa e deve ser incluída na calibração dos sensores.

Sensores modernos baseados em tecnologia digital usualmente incluem compensação de temperatura.



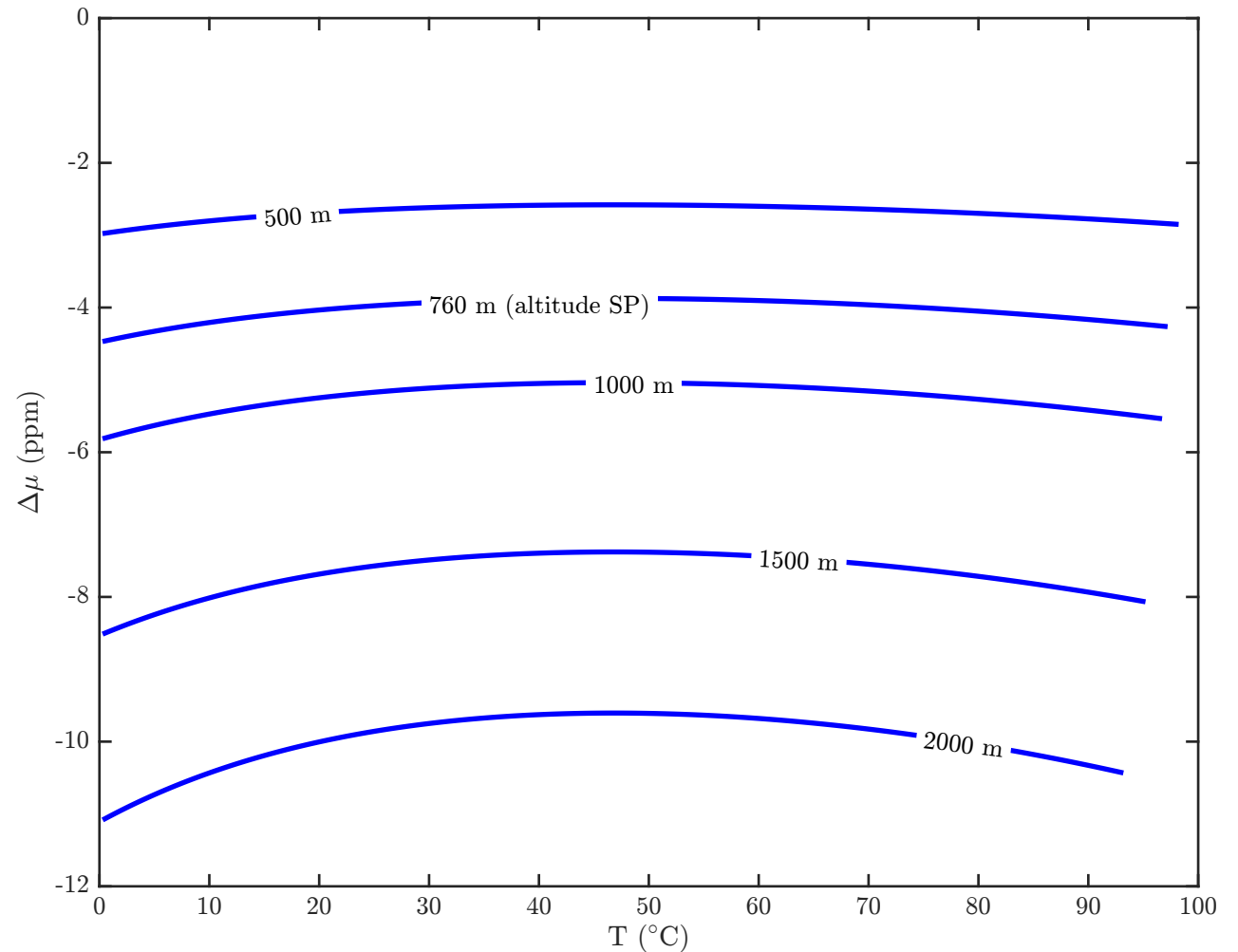
# Densidade da Água

## Variação com Altitude

Em diferentes altitudes (quanto maior a altitude menor a pressão atmosférica), pode-se notar que a variação da densidade da água é praticamente negligenciável.

Note que o gráfico está em ppm (partes por milhão). Entre o nível do mar e 200m de altitude há uma diferença de apenas 0,001% na densidade.

Para todos os efeitos pode-se considerar água como sendo um fluido incompressível quando em atmosfera normal.



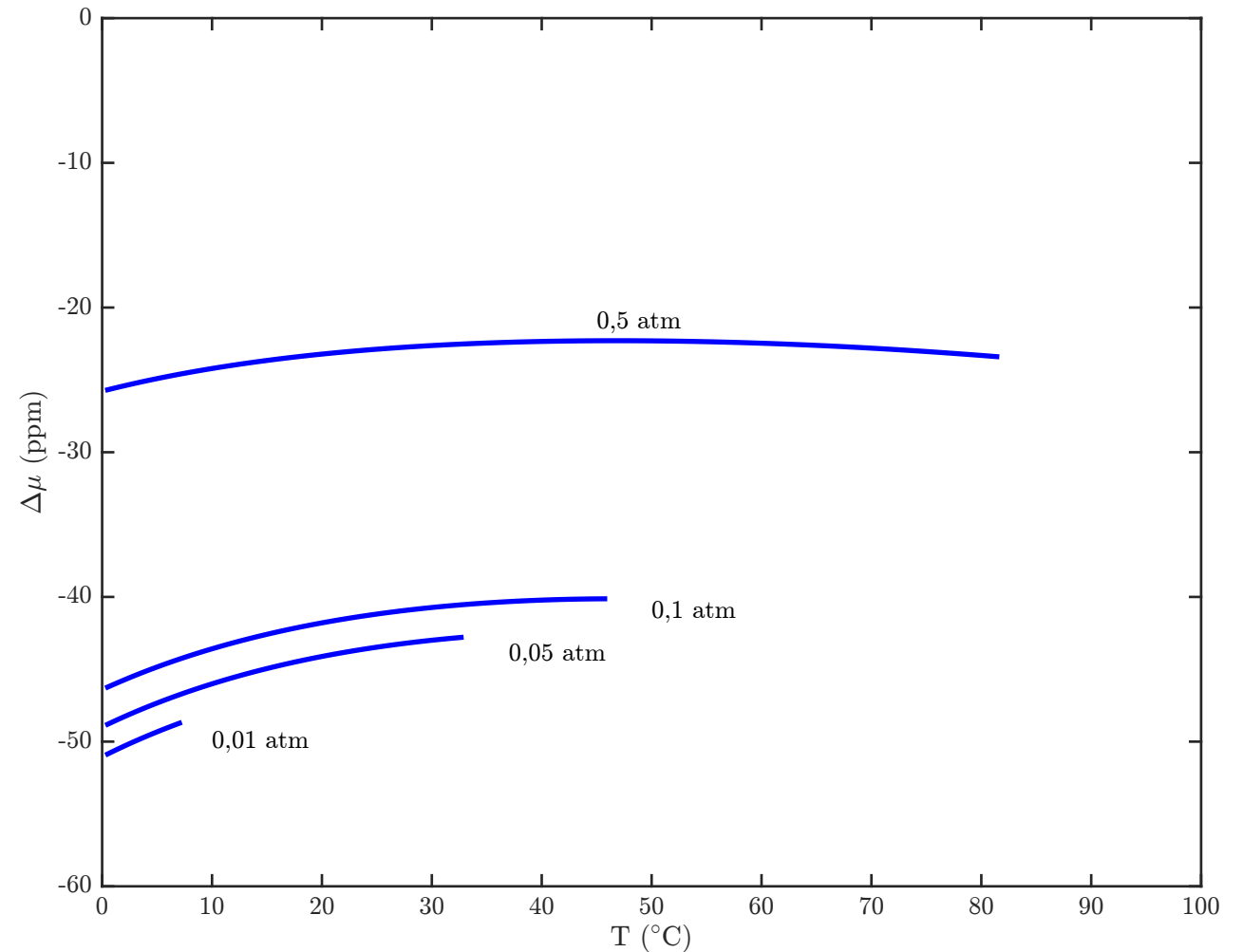
# Densidade da Água

## Em Vácuo

Quando em vácuo (pressão negativa), a água também pode ser considerada como praticamente incompressível.

Mesmo a uma pressão de 0,01 atm, a densidade da água varia apenas 0,005%.

Notem que nesta pressão água entra em ebulição abaixo dos 10°C.

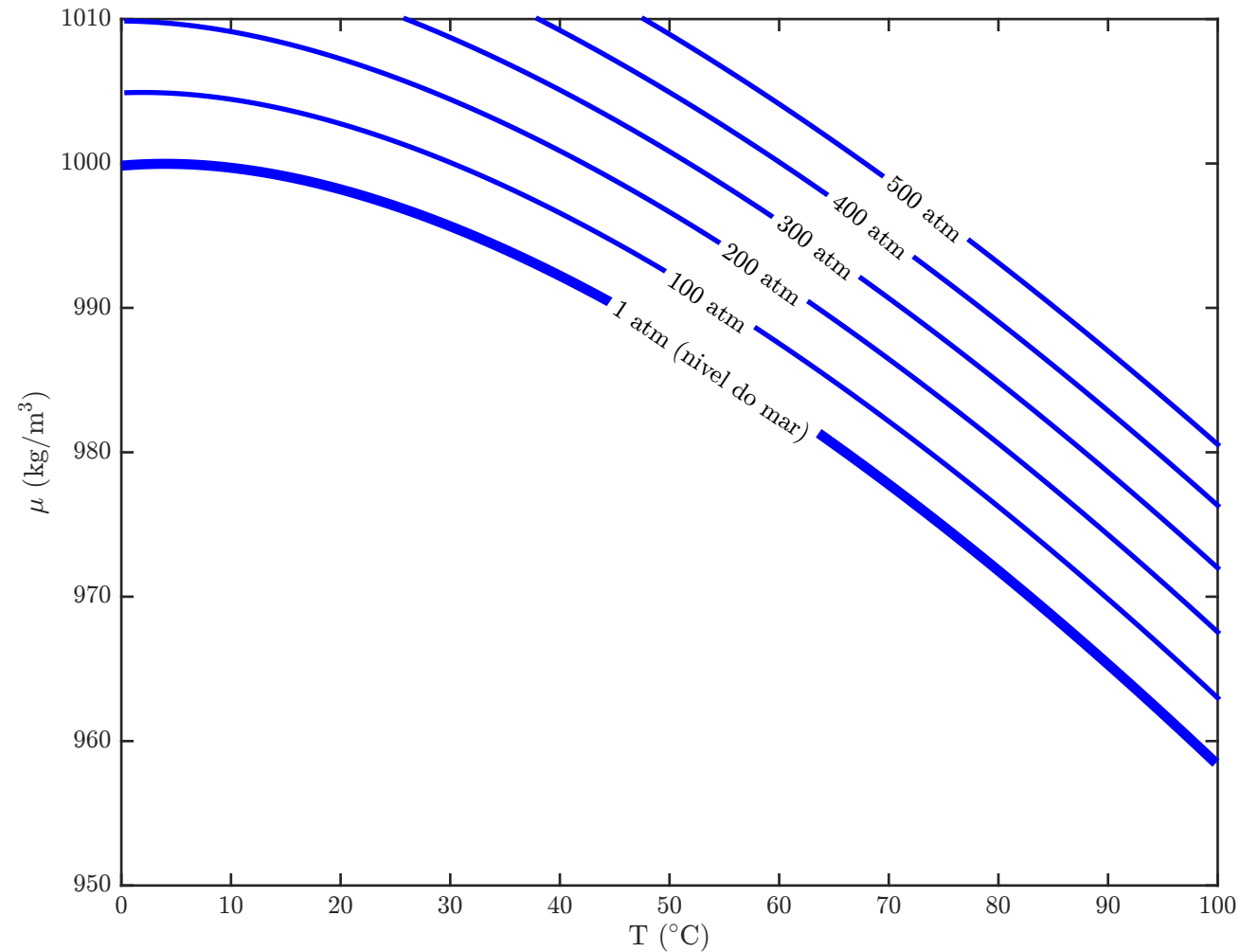


# Densidade da Água

## Em Altas Pressões

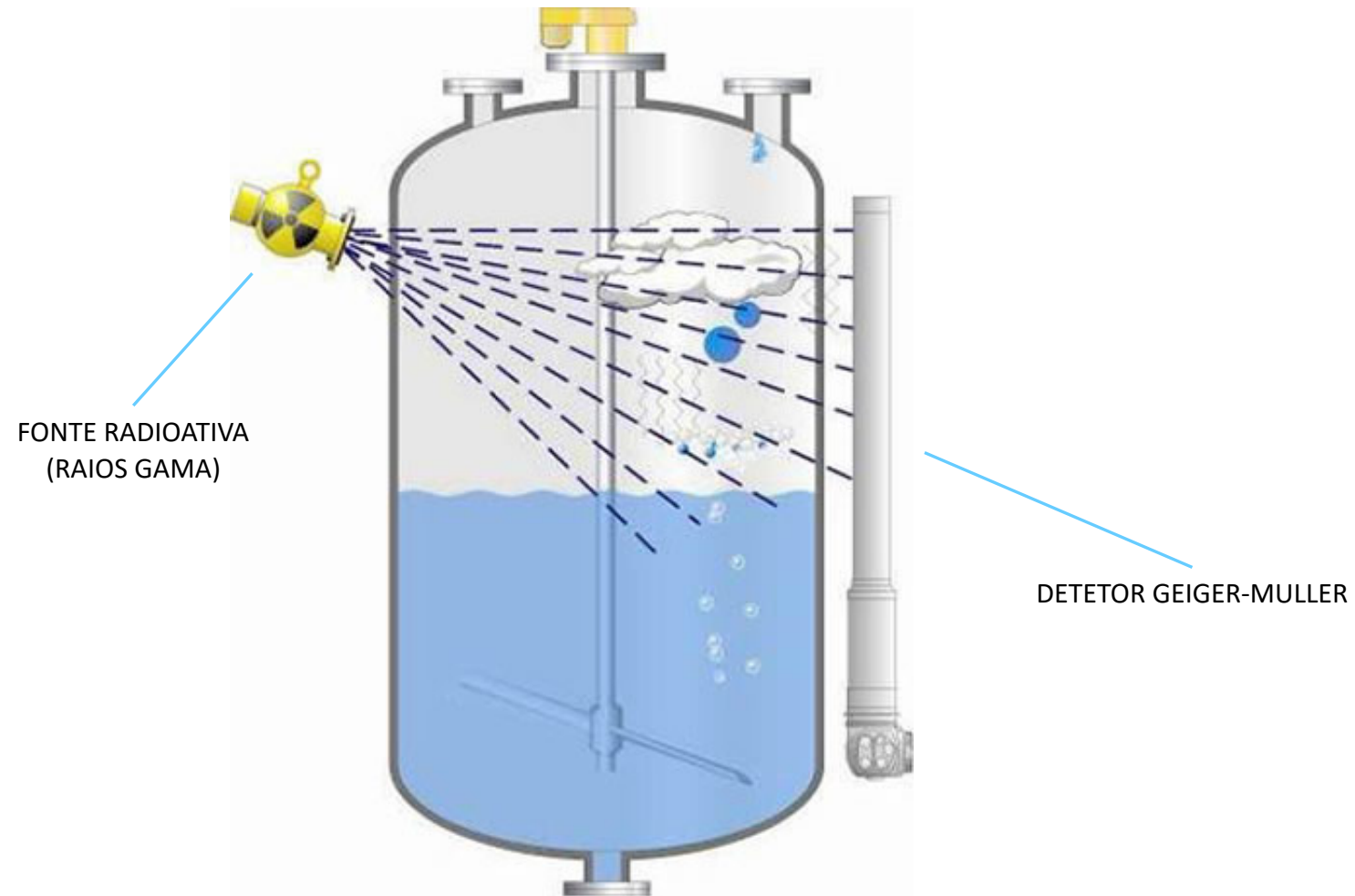
Em altas pressões, a densidade da água varia apreciavelmente, e nessas condições pode ser necessário considerar as variações, que são da ordem de 1% a 2%.

Notem que essas são pressões muito elevadas e que não são usuais na maioria dos processos industriais.



# Emissão Gama

---



# Emissão Gama

---

Tipos comuns de radiação nuclear incluem

- Partículas alfa ( $\alpha$ ):** São núcleos de hélio ( $2p+2n$ ) emitidos por decaimento radioativo. Têm baixo poder de penetração (basta uma folha de papel).
- Partículas beta ( $\beta$ ):** São elétrons emitidos por decaimento radioativo. Também têm baixo poder de penetração (basta uma folha metálica).
- Raios gama ( $\gamma$ ):** São fótons de alta energia emitidos por decaimento radioativo (similares a raios X e luz visível). Têm alto poder de penetração e requerem massas elevadas para sua absorção. Isso torna raios gama ideais para instrumentação industrial.

# Emissão Gama

---

## FONTE RADIOATIVA

A fonte radioativa (projektor de raios gama) consiste numa amostra de material radioativo num receptáculo blindado (chumbo é frequentemente utilizado devido a sua elevada densidade). Uma abertura no receptáculo permite focalizar a emissão.





# Emissão Gama

---

## FONTE RADIOATIVA

Materiais comumente usados incluem

Césio-137      que emite raios gama ao decair para Bário-137  
(meia vida de 30,17 anos).

Cobalto-60      que emite raios gama ao decair para Níquel-60  
(meia vida de 5,27 anos).

Césio-137 possui meia vida maior, porém Cobalto-60 produz radiação mais intensa. Notem que o decaimento contínuo da amostra exige recalibração do sensor.

OBS. Trata-se de radiação ionizante, que pode afetar compostos orgânicos e é perigosa para seres vivos.

# Emissão Gama

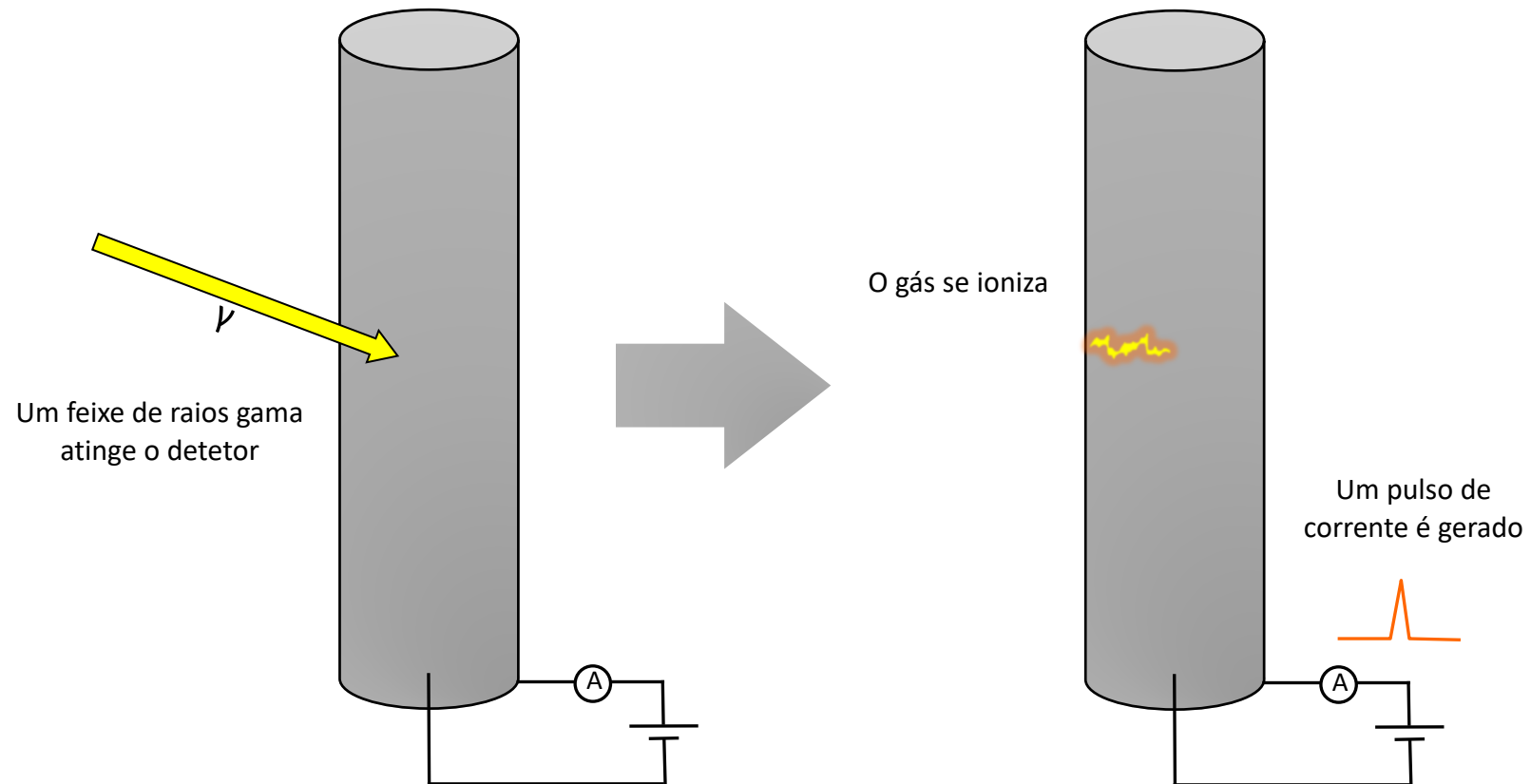
---

## DETETOR GEIGER-MULLER (1914)

O detetor consiste num cilindro metálico oco preenchido por uma mistura de gases a baixa pressão (usualmente argônio e um inibidor para controlar a ionização). No centro há um fio metálico disposto longitudinalmente, sendo aplicada uma grande diferença de potencial entre o cilindro e o fio.

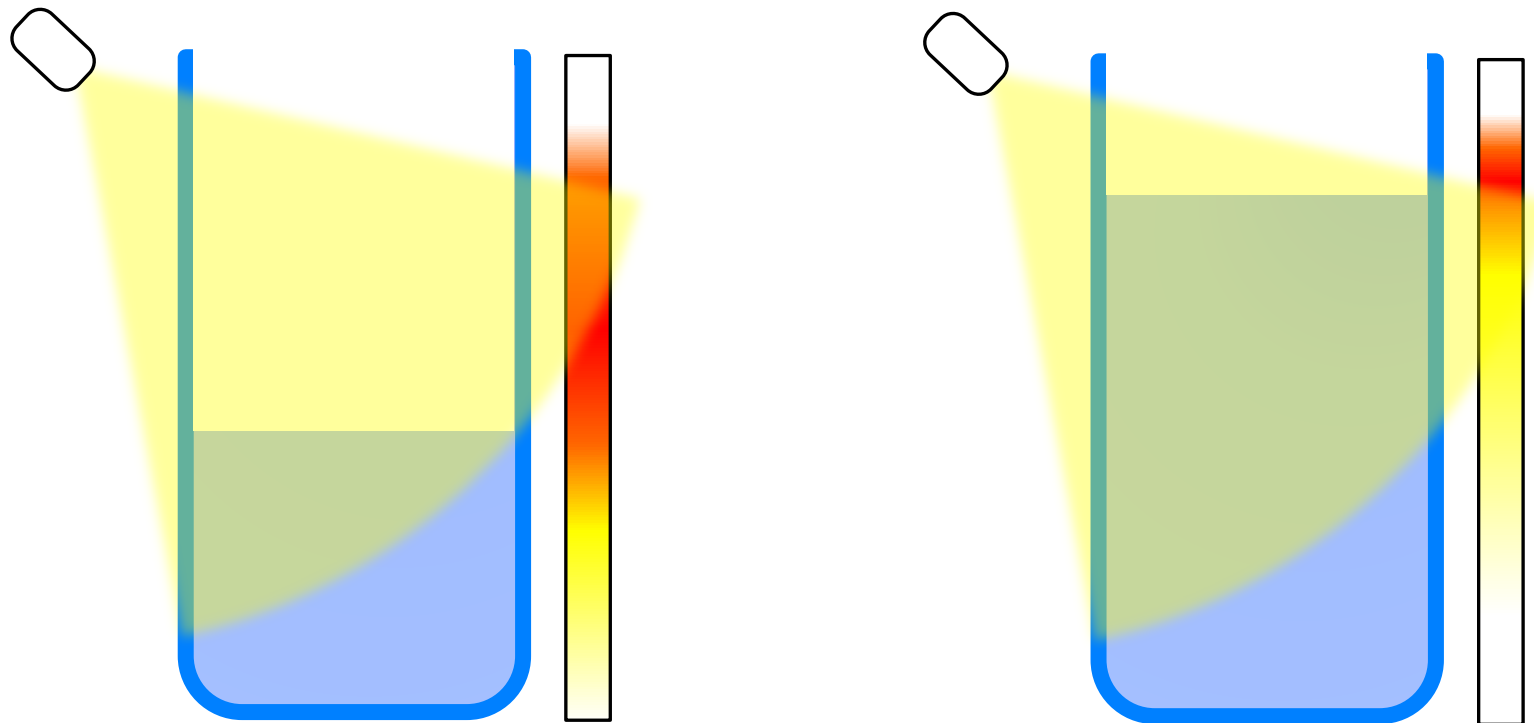
Quando raios gamas atingem o detetor, o gás é ionizado localmente e torna-se condutivo, gerando um pulso de corrente entre o fio e o corpo do detetor. Um circuito eletrónico amplifica esse pulso e o alimenta a um contador. A contagem num dado período de tempo dá a medida da emissão radioativa (daí o termo usual “contador Geiger”).

# Emissão Gama



# Emissão Gama

Quando o nível no reservatório sobe, a maior massa de líquido absorve uma maior proporção da emissão gama, e a intensidade da leitura no detetor diminui. A partir da leitura do detetor pode-se inferir o nível. Caso necessário, mais de um projetor gama ou detetor podem ser utilizados.



# Emissão Gama

---



# Emissão Gama

---

**Vantagens:** Adequado para sólidos ou líquidos;

Pode ser utilizado para reservatórios que operam em condições extremas de pressão ou temperatura;

Não é afetado por borra, espuma ou estruturas internas (e.g. agitadores, tubulações, etc.);

O sensor é não invasivo, portanto adequado a materiais corrosivos, tóxicos, estéreis, etc.

**Desvantagens:** Alto custo;

Opera com radiação ionizante. É de uso controlado e sujeito a licenciamento. Requer pessoal treinado em proteção radiológica.

**Em geral é utilizado quando outros métodos mais simples não são viáveis.**

# Capacitância

---

Sensores capacitivos são adequados para uso em líquidos ou sólidos, preferencialmente não condutivos e de constante dielétrica elevada.

Capacitores são compostos por dois condutores (denominados **placas**) separados por um material isolante (denominado **dielétrico**).

A capacitância é uma função da geometria do arranjo, incluindo tamanho e formato das placas e distância entre elas, e principalmente do material entre elas. Quanto maior a constante dielétrica do material, maior a capacitância.

# Capacitância

---

Como já visto:

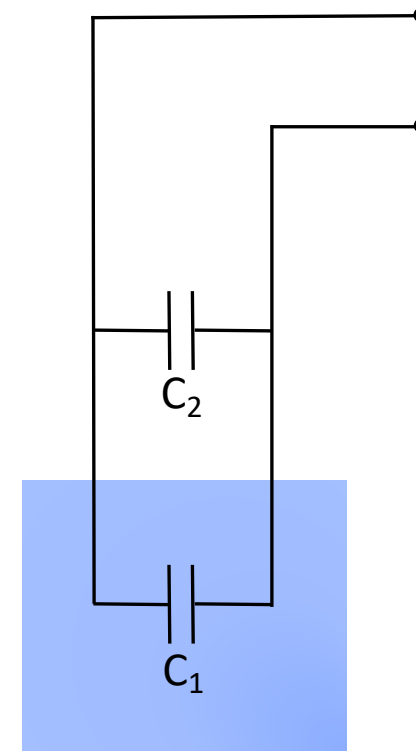
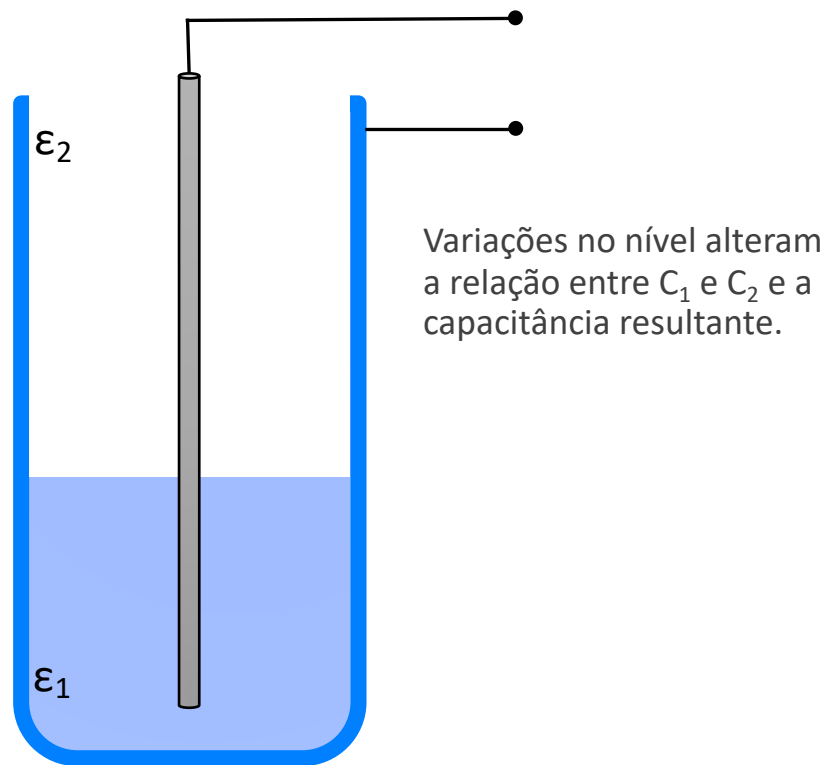
| material        | condições | cte. diel. |                        |
|-----------------|-----------|------------|------------------------|
| Vácuo           |           | 1          | (referência)           |
| Ar              | (1 atm)   | 1,00059    |                        |
|                 | (100 atm) | 1,0548     |                        |
| Teflon          |           | 2 – 2,8    | (diversas composições) |
| Água            | (20°C)    | 80,103     |                        |
|                 | (80°C)    | 61,027     |                        |
|                 | (vapor)   | 1,00       | (diversas condições)   |
| Azeite de Oliva |           | 3,1        |                        |
| Gasolina        | (20°C)    | 2,0        |                        |
| Querosene       | (20°C)    | 1,8        |                        |



# Capacitância

## Haste - Tanque

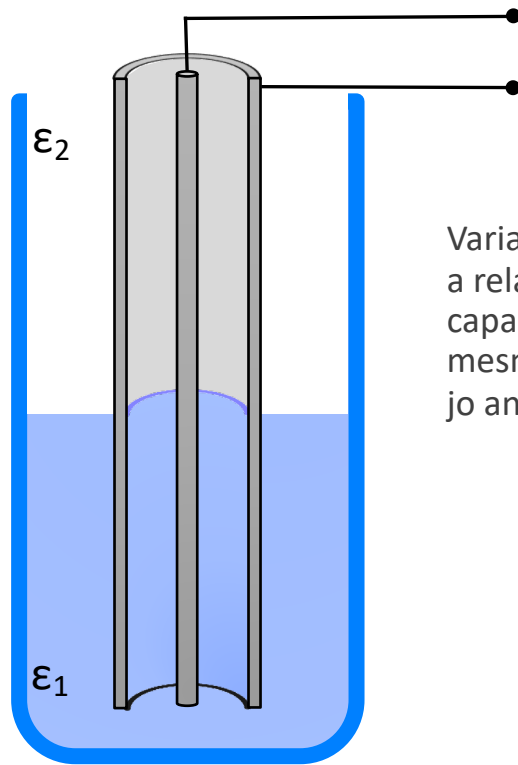
Um arranjo típico é utilizar uma haste condutora (eventualmente isolada) como uma placa e as paredes do campo como a outra.



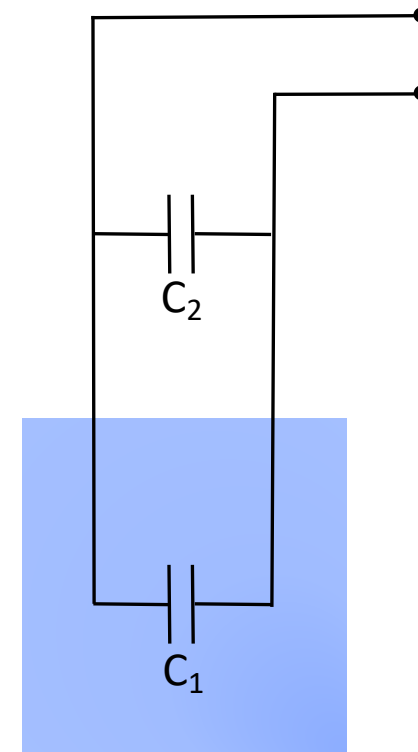
# Capacitância

## Haste - Cilindro

Outro arranjo é utilizar uma haste (uma placa) no centro de um cilindro oco (a outra placa), que é mais adequado a tanques de maiores dimensões ou de paredes não condutoras.



Variações no nível alteram a relação entre  $C_1$  e  $C_2$  e a capacitância resultante da mesma forma que no arranjo anterior.



# Capacitância

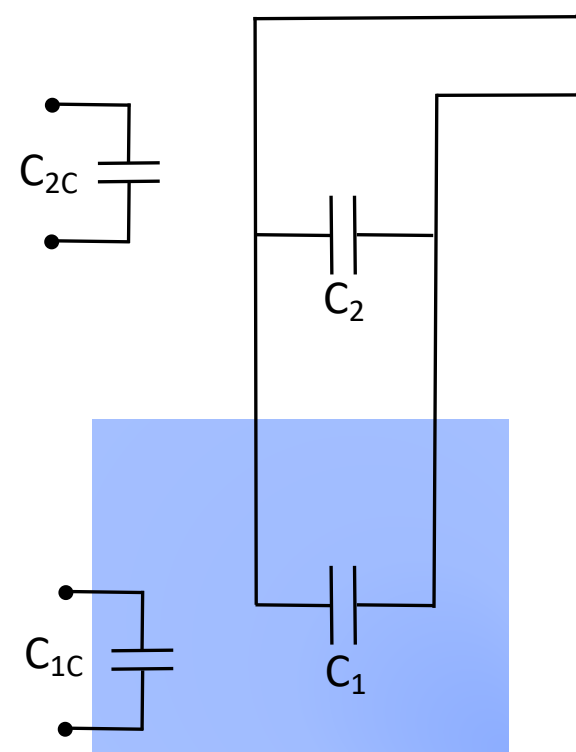
## Capacitores de Calibração

A constante dielétrica pode ser afetada por pressão, temperatura, diferenças de composição, entre outros fatores.

Capacitores de calibração instalados no topo e no fundo do reservatório podem ser utilizados para compensar tais variações.

A variação de suas capacitâncias frente a valores de calibração inicial indica variações na constante dielétrica do meio.

Tais variações podem ser utilizadas para corrigir a medida de nível.



# Capacitância

---

