

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;

μ [N/m³] peso específico do fluido;
 V [m³] 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.

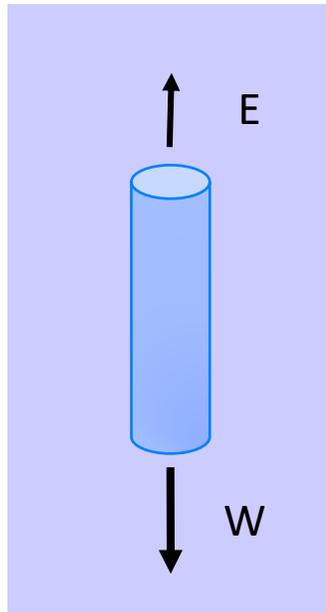
Se um corpo tem densidade maior do que a do fluído, ele afunda.
Para os nossos objetivos, chamaremos esse corpo de **deslocador** (displacer).

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 μ_c , imerso num fluido de peso específico μ_f :



Peso do deslocador: $W = \mu_c V$

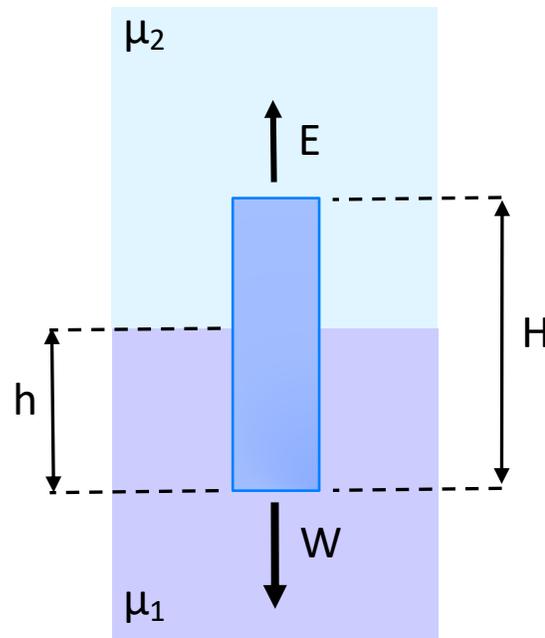
Empuxo: $E = \mu_f V$

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 μ_1 e μ_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

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

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

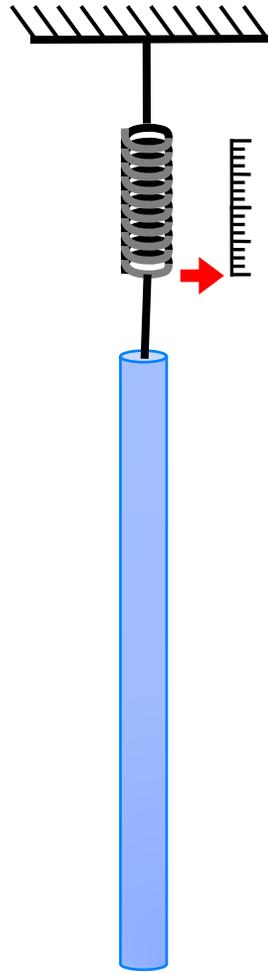
$$\text{Deslocador no fluído 1: } W_A = W - \mu_1 V$$

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

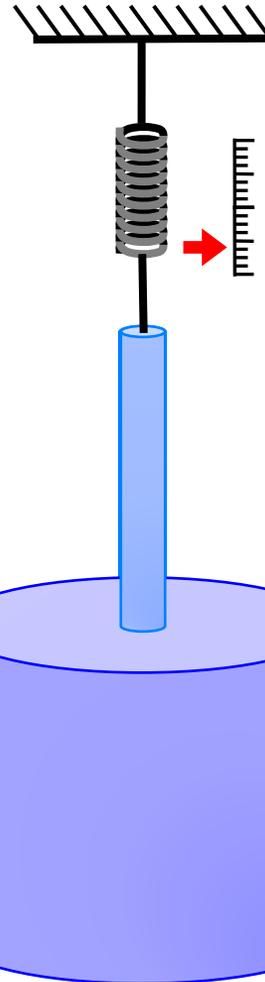
O deslocador só é efetivo para medir o nível enquanto não estiver totalmente imerso no fluído 1, portanto o comprimento do deslocador fornece o alcance da medida, enquanto a combinação de posição do deslocador e de seu comprimento fornece a faixa operacional. (para se medir variações de nível de 10m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

Deslocadores

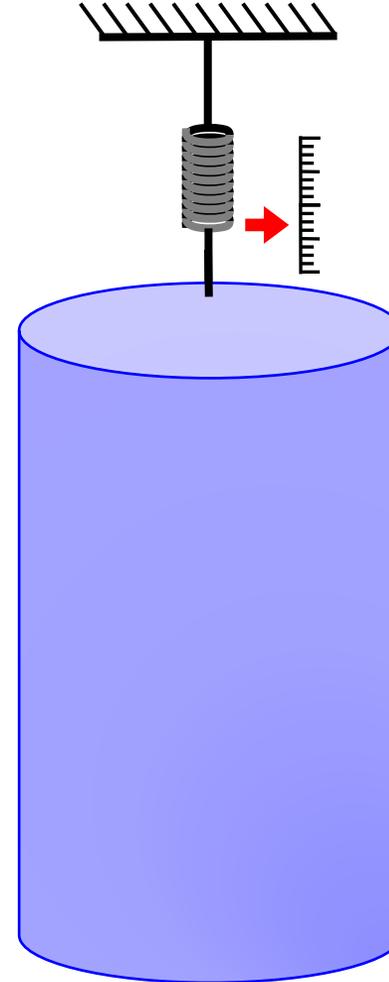
Mola Balanceadora



$$W_A = W$$



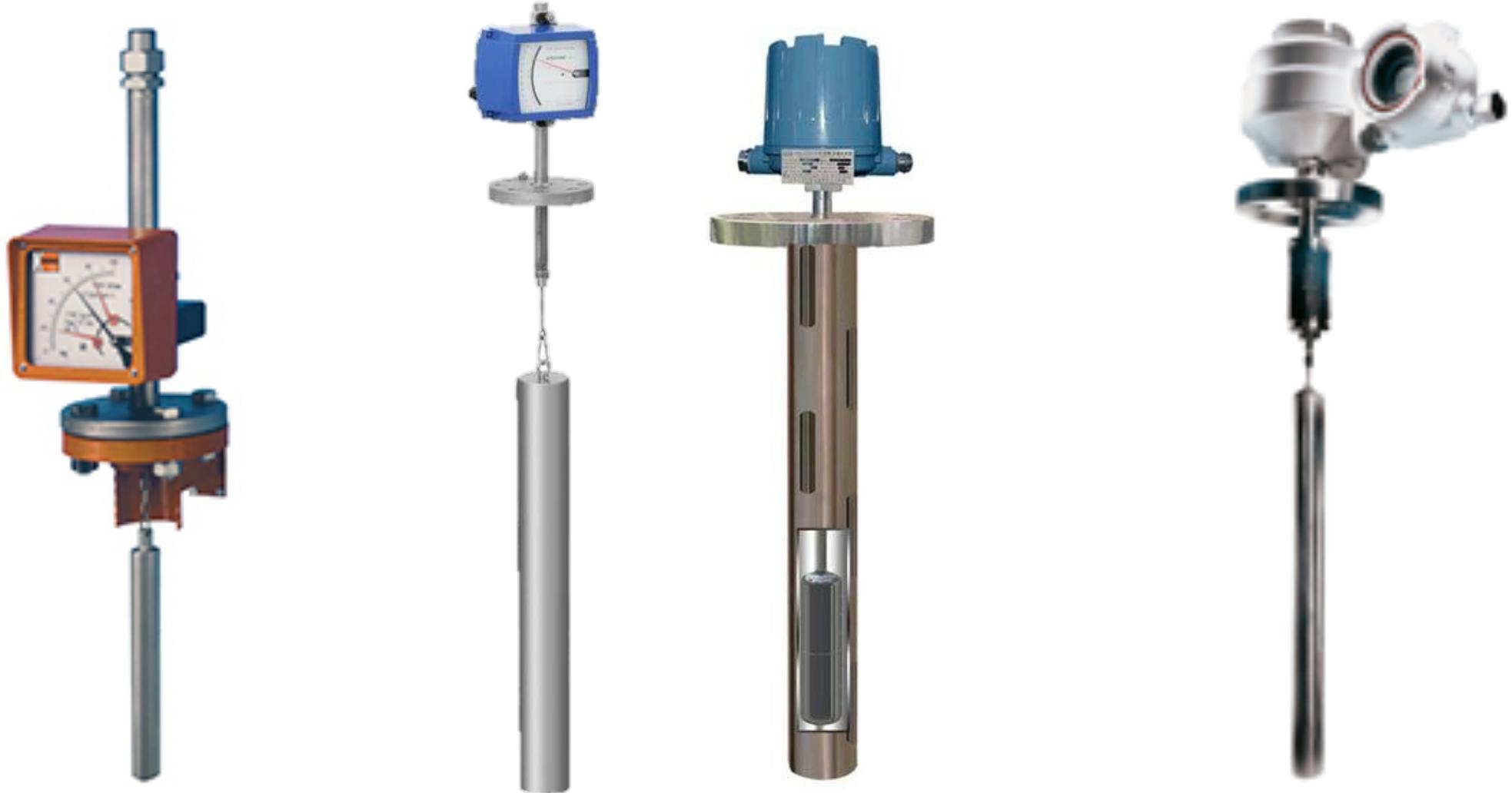
$$W - \mu_1 V < W_A < W$$



$$W_A = W - \mu_1 V$$

Deslocadores

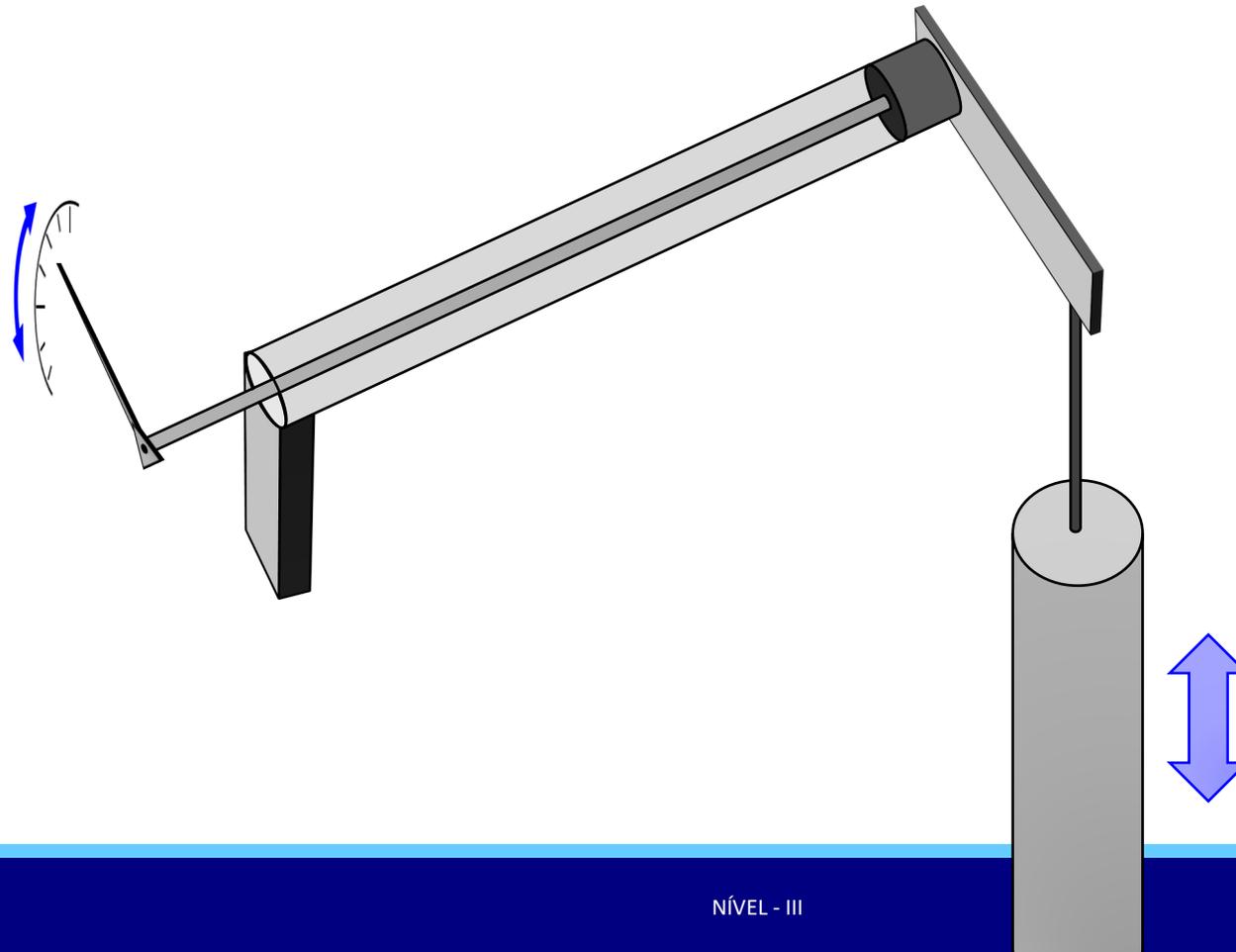
Mola Balanceadora



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

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

$$p = \mu h,$$

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

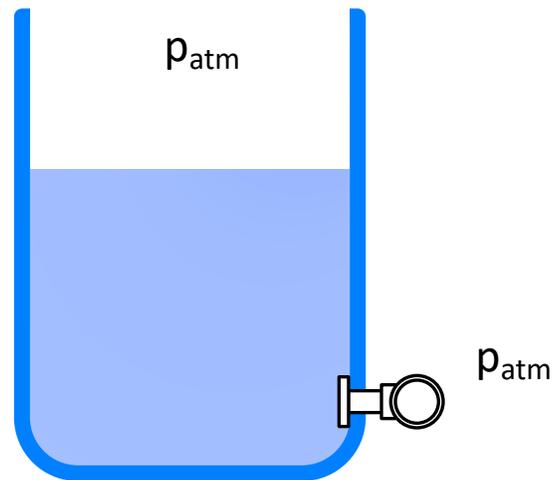
Assim sendo um sensor de pressão pode ser calibrado para medir nível ao invés de pressão estática.

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.

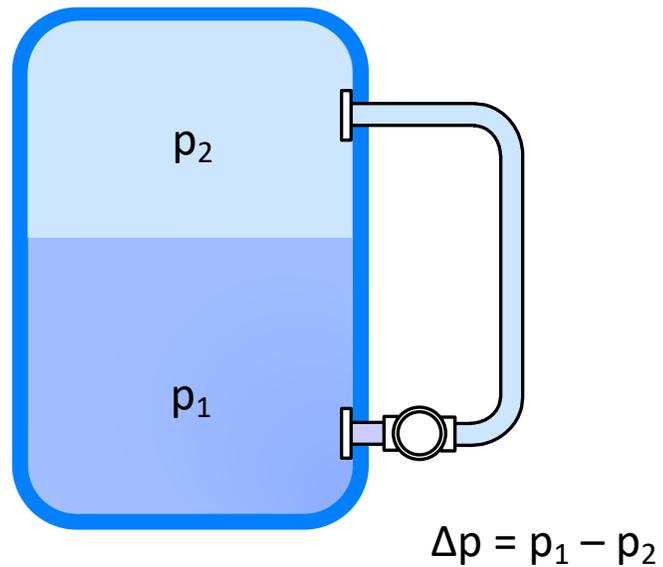


Pressão

Tanques Pressurizados

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

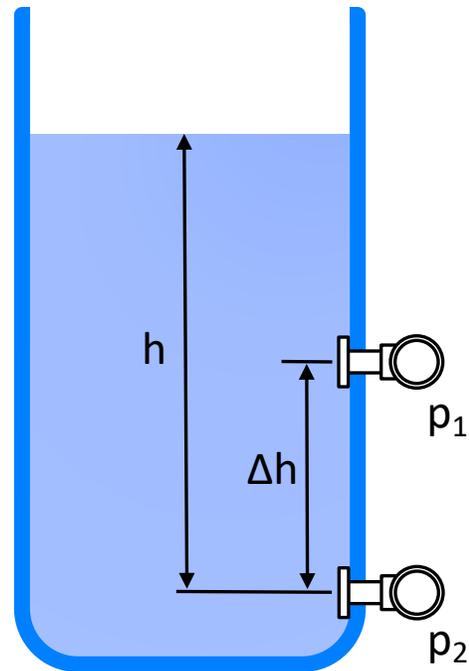
Caso a pressão afete a densidade do líquido, é necessário compensar a leitura.



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 Δh é um valor conhecido.

Daí

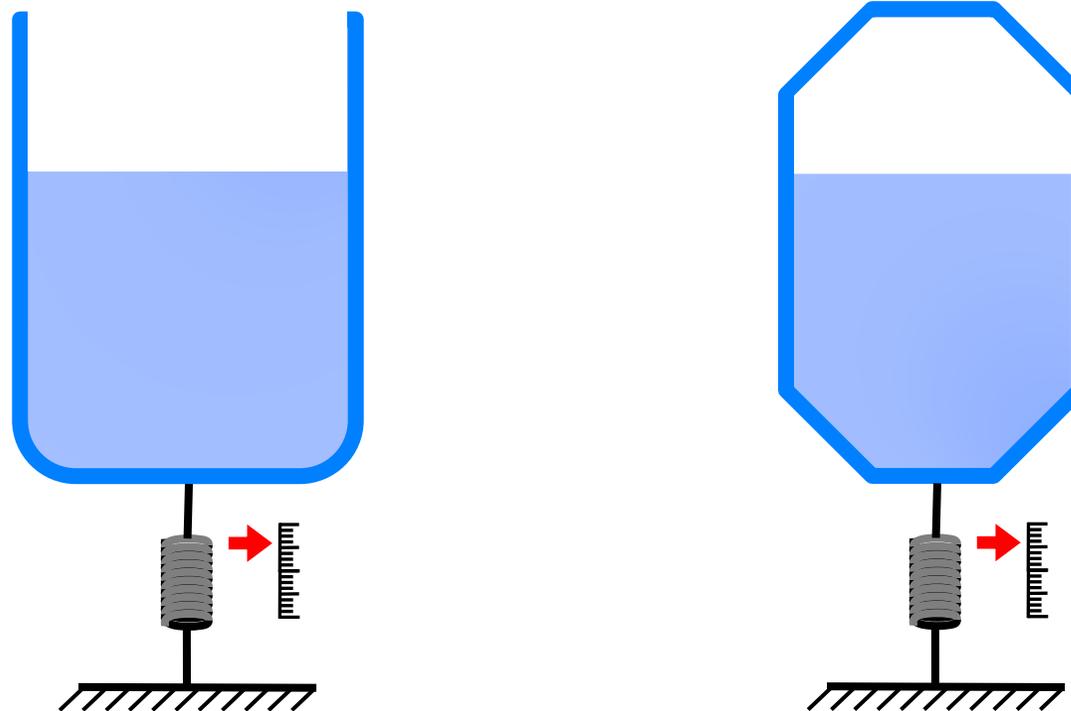
$$p_2 - p_1 = \mu \Delta h \quad \text{e} \quad \mu = (p_2 - p_1) / \Delta h.$$

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

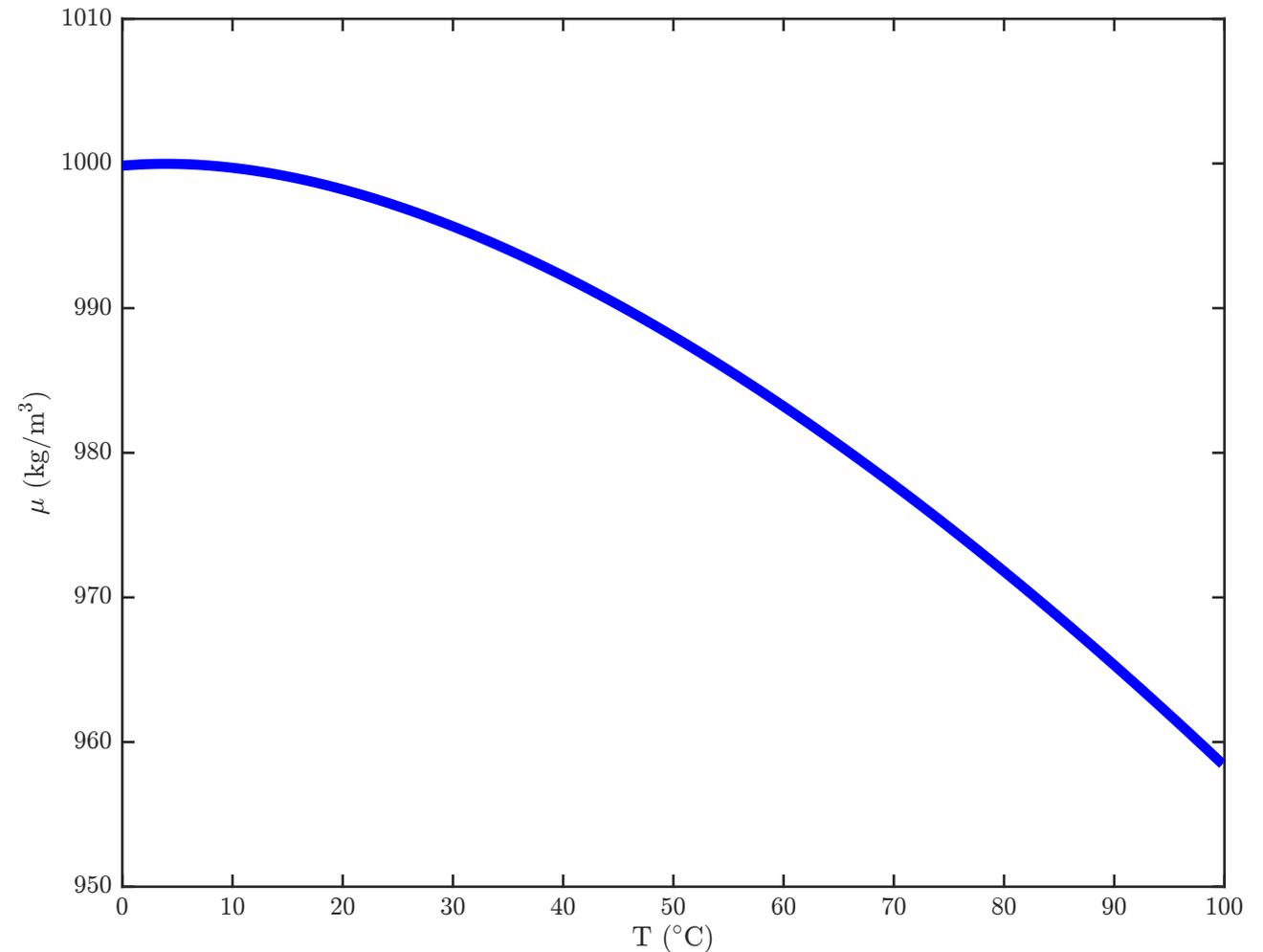
Variação com Temperatura

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.



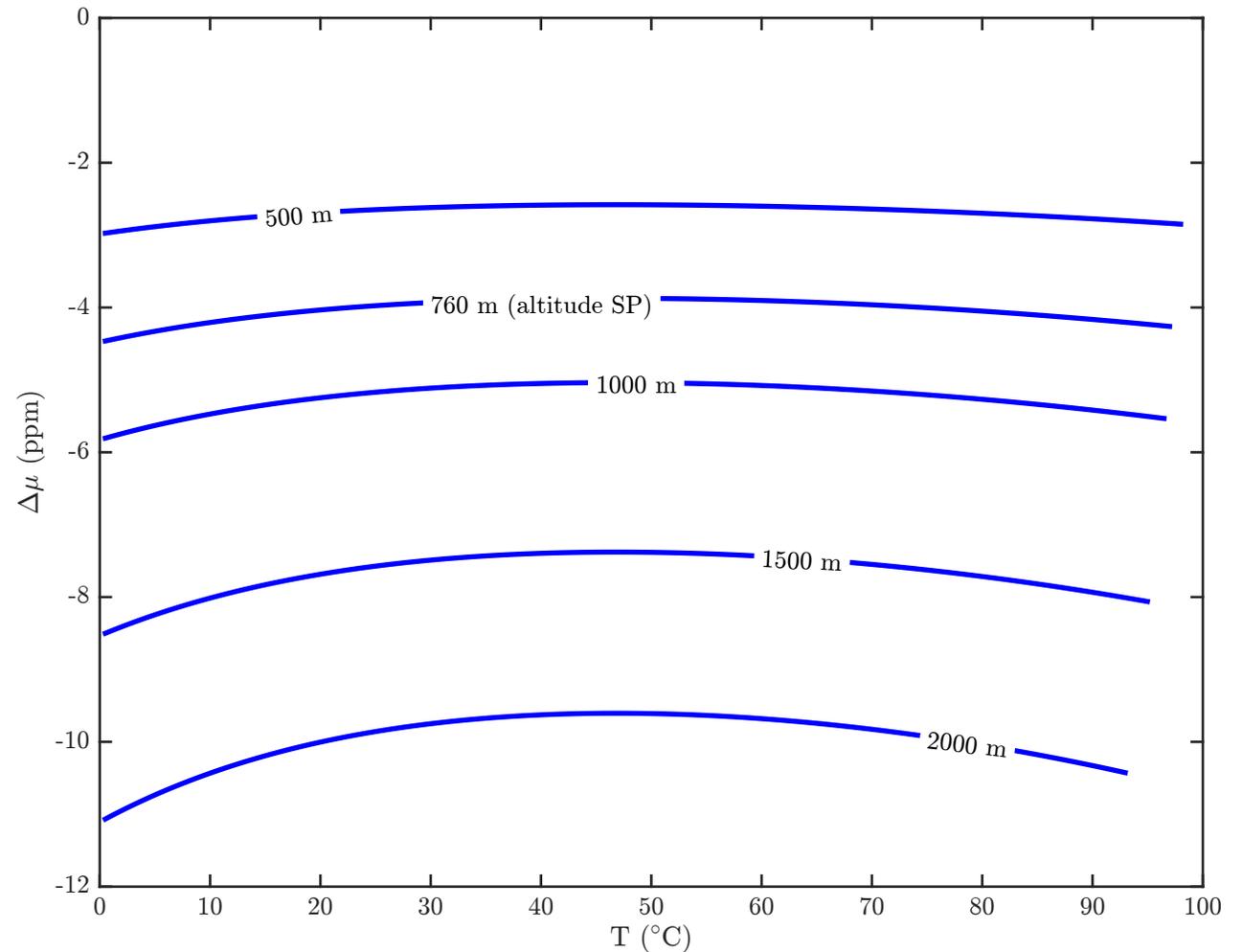
Densidade da Água

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.



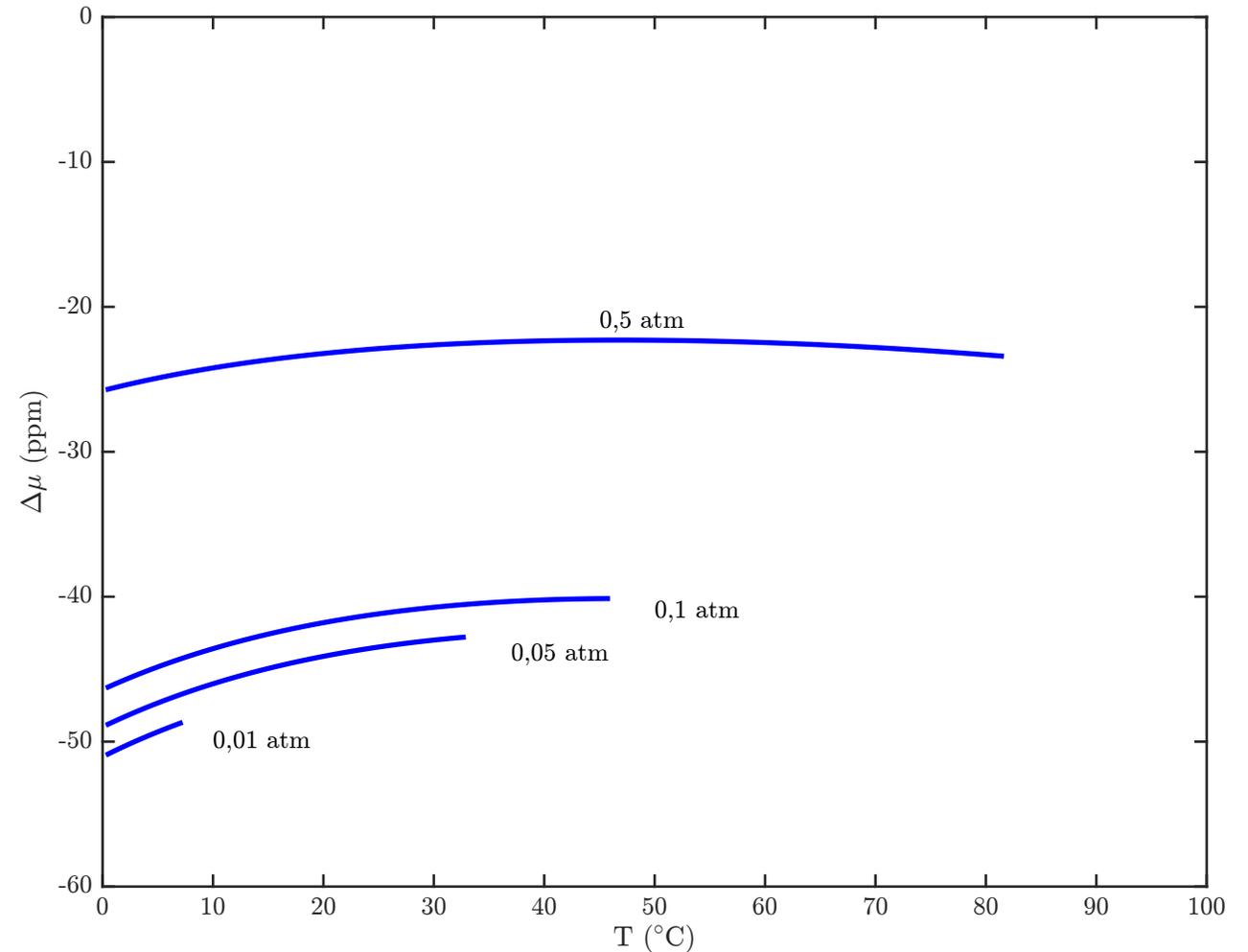
Densidade da Água

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.

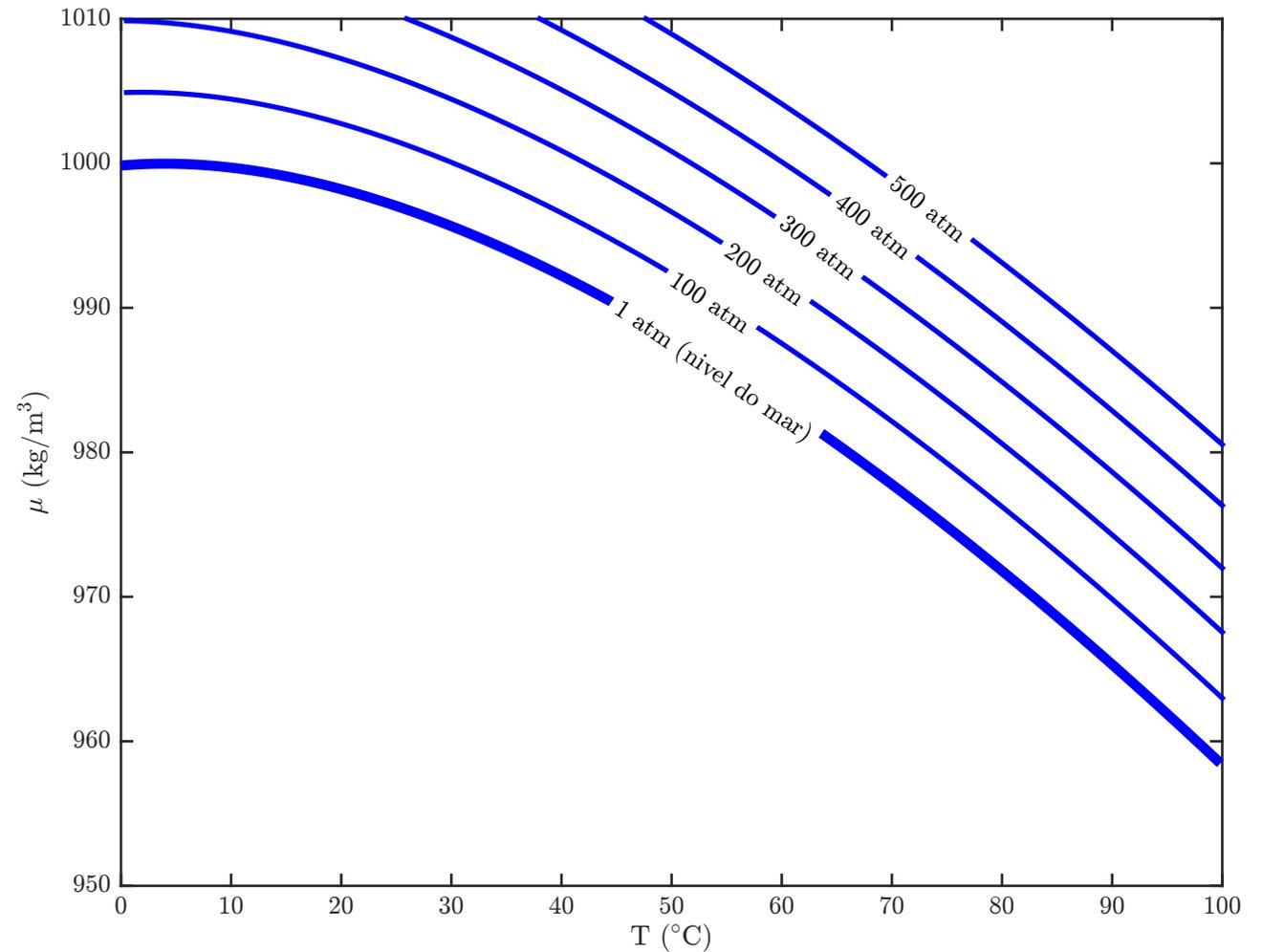


Densidade da Água

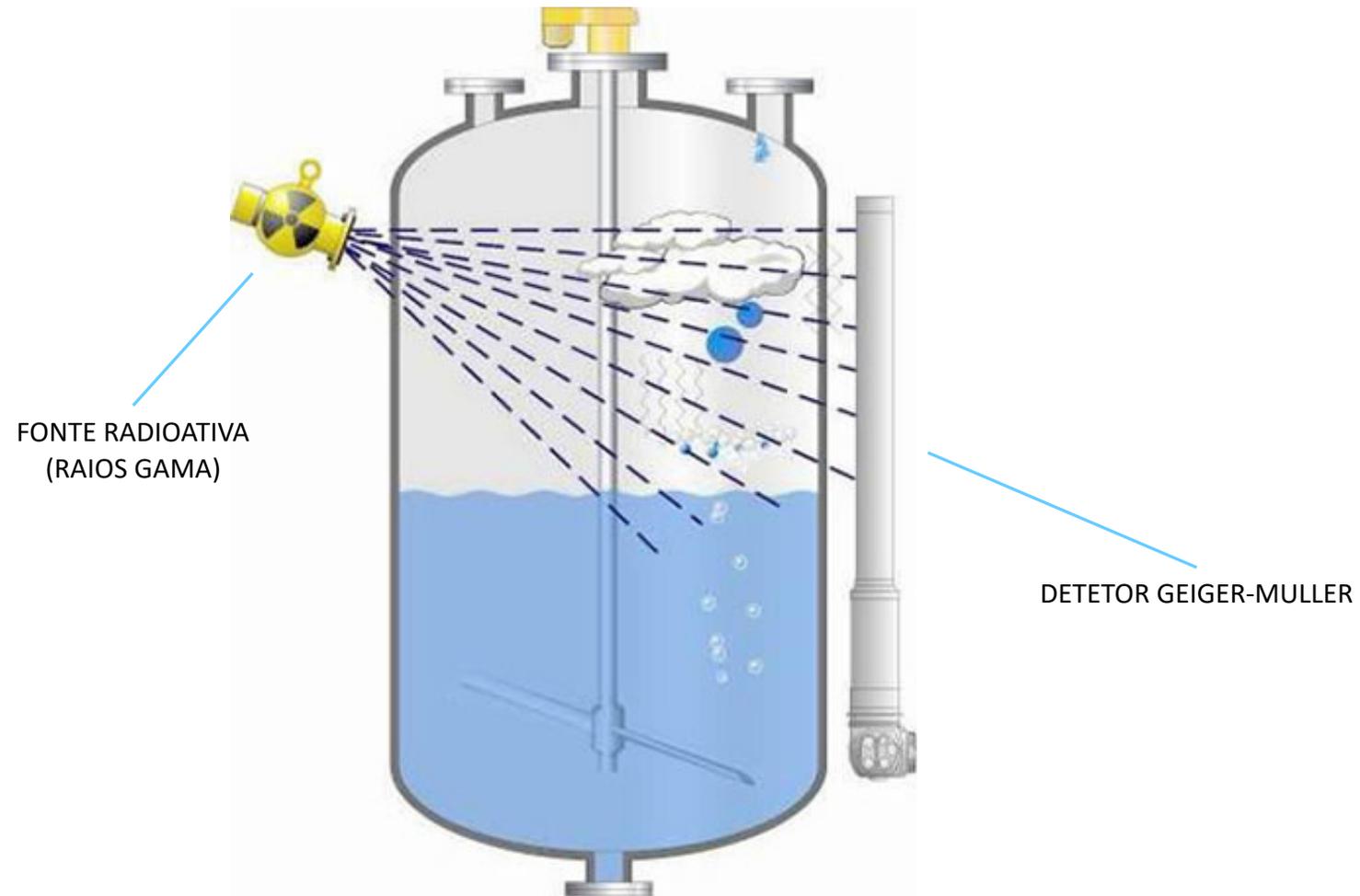
Em Altas Pressões

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 (α):** São núcleos de hélio ($2p+2n$) emitidos por decaimento radioativo. Têm baixo poder de penetração (basta uma folha de papel).
- Partículas beta (β):** São elétrons emitidos por decaimento radioativo. Também têm baixo poder de penetração (basta uma folha metálica).
- Raios gama (γ):** 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.

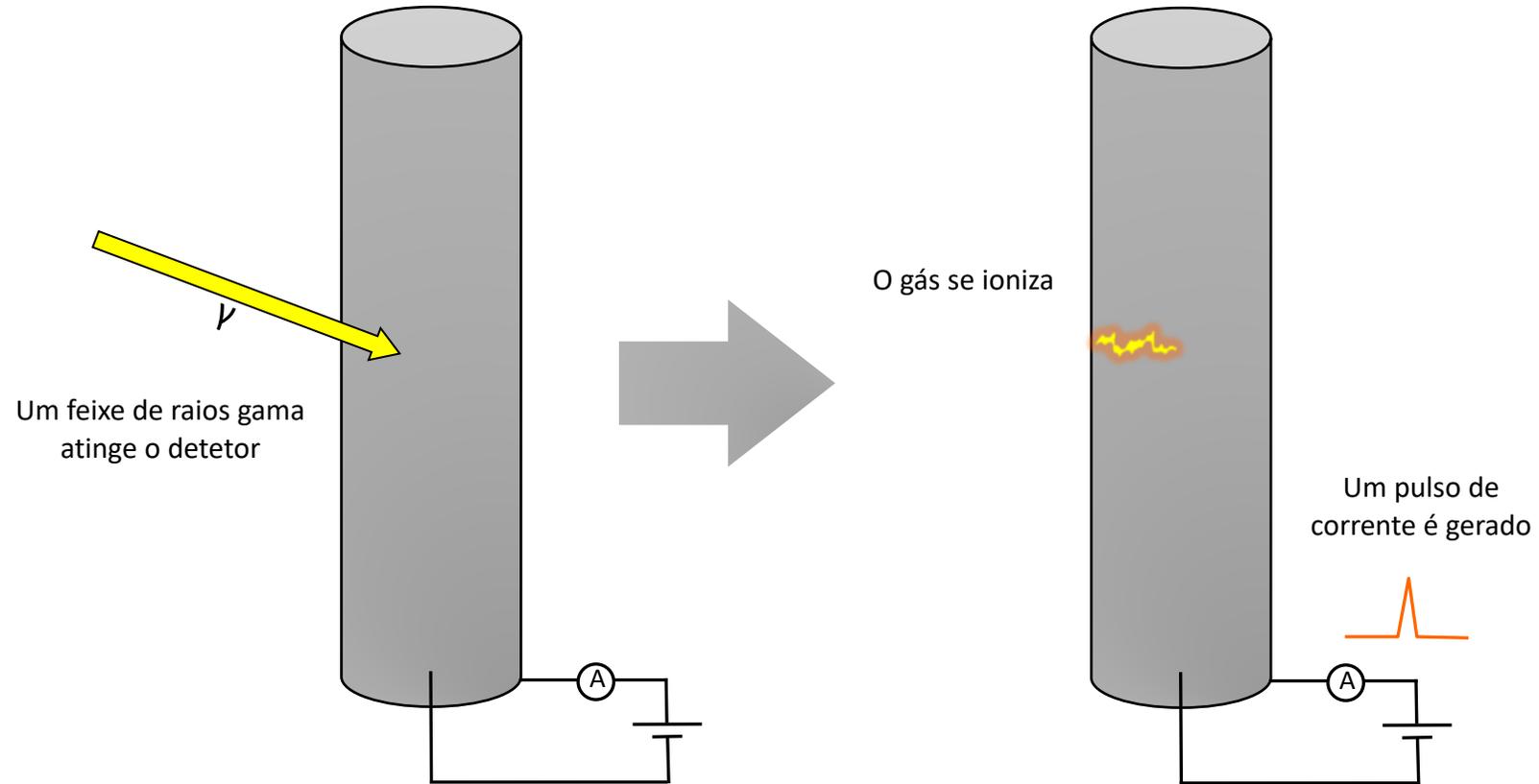
Emissão Gama

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.

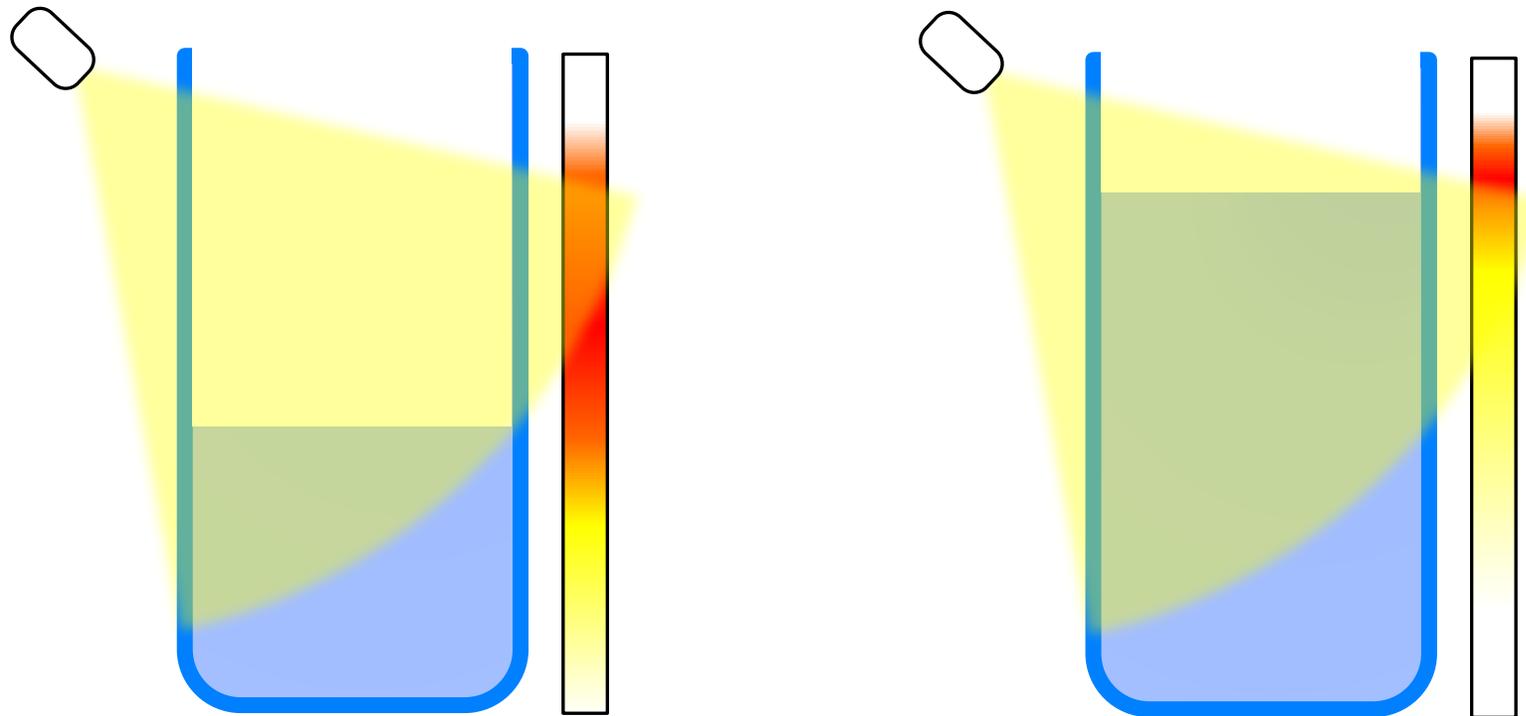
Quando raios gamas atingem o detetor, o gás é ionizado localmente e torna-se condutivo, gerando um pulso de corrente entre o fio e o corpo do detetor. Um circuito eletrónico amplifica esse pulso e o alimenta a um contador. A contagem num dado período de tempo dá a medida da emissão radioativa (daí o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

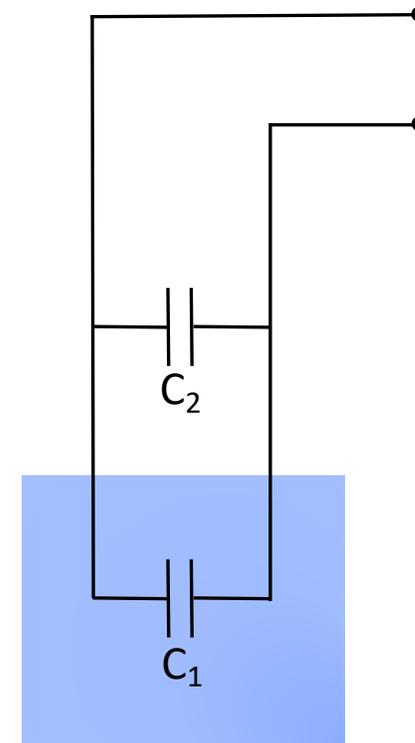
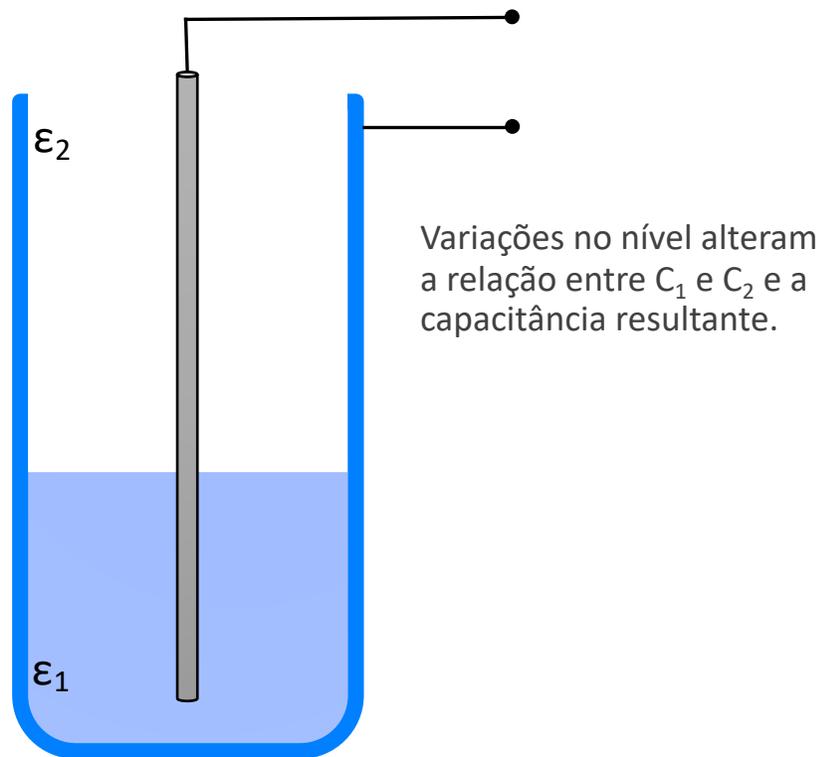
Como já visto:

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

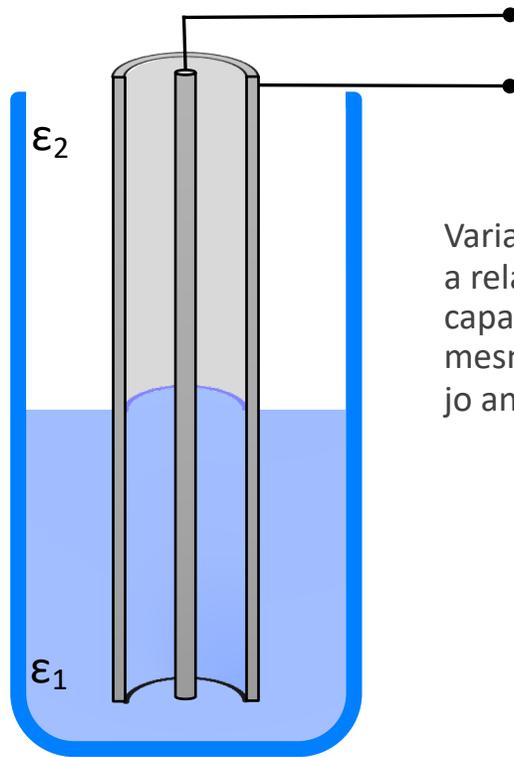
Um arranjo típico é utilizar uma haste condutora (eventualmente isolada) como uma placa e as paredes do campo como a outra.



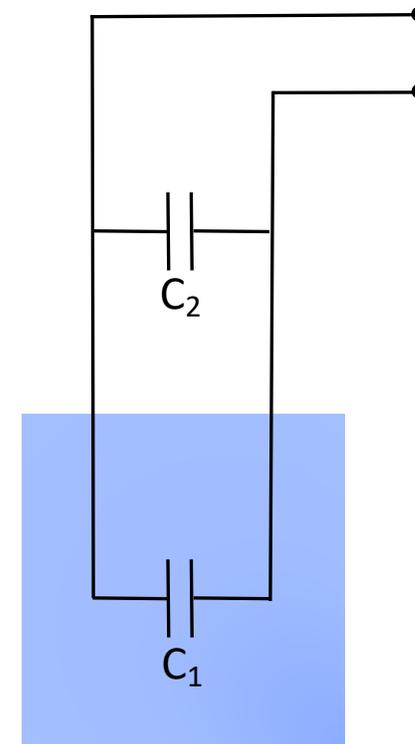
Capacitância

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

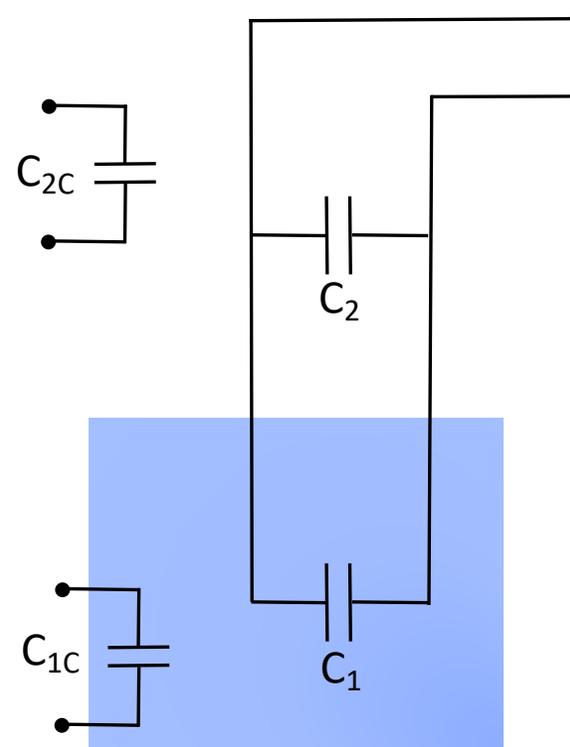
Capacitores de Calibração

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

