



Coordenação Geral de Acreditação

**ORIENTAÇÃO PARA A REALIZAÇÃO DE
CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES ANALÓGICOS DE
PRESSÃO**

Documento de caráter orientativo

DOQ-CGCRE-017

Revisão 04 – Abr/2018

SUMÁRIO

1	Objetivo
2	Campo de aplicação
3	Responsabilidade
4	Histórico das Revisões
5	Documentos de referência
6	Documentos Complementares
7	Siglas
8	Terminologia e definições
9	Condições gerais
10	Tipos de instrumentos de medição
11	Condições ambientais
12	Verificação intermediária do padrão
13	Recomendações para calibração de medidor analógico de pressão
14	Preparação
15	Método de Calibração
16	Incerteza de medição
17	Certificado de calibração
	Anexo A – Cálculo da pressão de referência
	Anexo B – Incerteza de medição na curva de calibração do padrão
	Anexo C – Exemplo de cálculo de incerteza de um manômetro analógico
	Anexo D – Tipos de Escalas de Medidores Analógicos de Pressão
	Anexo E – Tabela de Conversão de Unidades

1 OBJETIVO

Este documento estabelece diretrizes e orientações para a realização de calibração de medidores analógicos de pressão.

2 CAMPO DE APLICAÇÃO

Este documento aplica-se à Dicla, aos laboratórios de calibração acreditados e postulantes à acreditação na área de pressão e aos avaliadores e especialistas que atuam nos processos de acreditação de laboratórios nesta área.

3 RESPONSABILIDADE

A responsabilidade pela revisão deste documento é da Dicla/Cgcre.

4 HISTÓRICO DAS REVISÕES

Revisão	Data	Itens revisados
4	ABR/2018	- Atualização da marca da Cgcre no cabeçalho. - Alteradas as figuras do item 14.3 e as frases subsequentes.
3	DEZ/2013	- O item 11 foi revisado com a inclusão de referência ao VIM 2012. - O item 07 foi revisado com a inclusão das siglas ABNT e VIM. - O item 08 foi revisado com a adequação da redação dos itens e

	<p>exclusão de terminologias e definições obsoletos e que constam no VIM 2012 e inclusão da definição de Instrumento de medição analógico de pressão.</p> <ul style="list-style-type: none"> - O item 10 foi revisado com a adequação do texto acrescentando a palavra “padrão” e retirando do final da Frase “e os transdutores de pressão”, exclusão do item 10.4. - O item 12 foi revisado incluindo a verificação Intermediária do Padrão. - O item 13 foi revisado para a inclusão do instrumento manovacuômetro na primeira coluna da tabela. - O item 17 foi revisado retirando todas as informações referentes aos certificados e referenciando o DOQ-Cgcre-047 a ser consultado. - O Anexo C foi todo revisado, retirando-se toda a tabela do anexo, incluindo alterações na planilha de incerteza.
--	---

5 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

ANSI / ASME - B 40-1:1974	Gauges pressure and vacuum indicating dial type -Elastic element.
DIN EN 837-1: 1997	Pressure gauges - Bourdon tube pressure gauges, dimensions, metrology, requirements and testing.
NIT-Dicla-012	Relação Padronizada de Serviços de Calibração Acreditados.
NIT-Dicla-021	Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração
Resolução do CONMETRO nº 12/88	Quadro Geral de Unidades
VIM 2012	Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Inmetro

6 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

ABNT NBR 14105-1:2011	Medidores de pressão – Parte 1: Medidores analógicos de pressão com sensor de elemento elástico – Requisitos de fabricação, classificação e utilização
ABNT NBR ISO/IEC 17025	Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração
DOQ-Cgcre-047	Orientações para a apresentação de certificado de calibração de medidores de pressão

7 SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI/ASME	American National Standards Institute/American Society of Mechanical Engineers
Cgcre	Coordenação Geral de Acreditação
CT-9	Comissão Técnica de Pressão
Dicla	Divisão de Acreditação de Laboratórios
DIN	Deutsches Institut für Normung
DOQ	Documento Orientativo da Qualidade
IEC	International Electrotechnical Commission
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Norma Brasileira
NIT	Norma Inmetro Técnica
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia

8 TERMINOLOGIA E DEFINIÇÕES

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os seguintes termos e definições.

8.1 Erro Fiducial

O erro fiducial de um medidor de pressão é determinado a partir da relação entre o maior erro de medição do instrumento pela amplitude de medição expressa em percentagem.

Nota: O erro fiducial determina a classe de exatidão do instrumento sob calibração.

8.2 Histerese

É obtida através da relação entre a diferença máxima das indicações do medidor em um dos ciclos (carregamento e descarregamento), num ponto de pressão expressa em percentagem da amplitude da faixa de escala expandida.

8.3 Unidades

A unidade de pressão do sistema internacional de unidades é o pascal (Pa), que é definida pela relação N/m^2 . Para a conversão de unidades de pressão, convém que o laboratório utilize uma tabela oficial. O desconhecimento destas informações poderá acarretar erros da ordem 0,2% e 0,4% na conversão de qualquer unidade de pressão para a altura de coluna de mercúrio e de água respectivamente. A tabela de conversão de unidades citada no anexo A tem como referência:

- Aceleração da gravidade normal ($g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$)
- Massa específica do mercúrio a 0°C e pressão atmosférica padrão (101325 Pa):
 $\rho_{Hg} = 1,359508 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$
- Massa específica da água a 4°C e pressão atmosférica padrão (101325 Pa):
 $\rho_{H_2O} = 1,000000 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

8.4 Valor de uma Divisão

Diferença entre os valores correspondentes a duas marcas sucessivas da faixa de escala do instrumento.

8.5 Identificação da classe de exatidão do instrumento de medição

A classe de exatidão de um instrumento de medição analógico de pressão é identificada de acordo com as seguintes características do instrumento:

- Diâmetro nominal da caixa do instrumento de medição;
- Amplitude Nominal;
- Resolução de um dispositivo mostrador;
- Quantidade de marcas da escala.

8.6 Instrumento de medição analógico de pressão

Instrumento de medição que utiliza um elemento elástico, o qual é sensível mecanicamente à pressão e apresenta um sinal de saída na forma visual através de um ponteiro sobre uma escala.

8.7 Pressão absoluta

A pressão absoluta (P_{abs}) é a pressão que está acima da pressão "zero absoluto".

8.8 Pressão diferencial (diferença de pressão)

A diferença entre duas pressões p_1 e p_2 é denominada diferença de pressão: $p = p_1 - p_2$ ou pressão diferencial $P_{1,2}$.

8.9 Pressão relativa

É a diferença entre uma pressão absoluta e a pressão atmosférica.

$$P_e = P_{abs} - P_{atm}$$

8.9.1 A pressão (P_e) é positiva quando a pressão absoluta for maior que a pressão atmosférica e negativa (vácuo) quando a pressão absoluta for menor que a pressão atmosférica.

9 CONDIÇÕES GERAIS

Este documento é resultado do trabalho da Comissão Técnica de Pressão (CT-09). Embora o documento não se constitua um requisito para a acreditação, ele contém informações relevantes para a elaboração e avaliação de procedimento de calibração de medidores analógicos de pressão.

A realização da calibração dos medidores analógicos de pressão (vacuômetro, manovacuômetro e manômetro) tem como base a norma NBR 14105-1. Este documento complementa esta norma, com alguns outros parâmetros adicionais necessários na calibração dos medidores analógicos de pressão.

10 TIPOS DE INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO

Os medidores de pressão padrão são divididos em dois grandes grupos: medidores fundamentais e medidores indiretos. Os medidores fundamentais medem pressão em função da definição da realização da grandeza. Os medidores indiretos medem a pressão em função de uma propriedade física. No grupo dos medidores fundamentais, encontram-se o manômetro de coluna líquida, barômetro de coluna de mercúrio e a balança de pressão. No grupo dos indiretos, encontram-se os medidores analógicos e digitais (manômetros, vacuômetros, manovacuômetro e barômetros).

10.1 Balança de pressão

Instrumento que mede pressão a partir do equilíbrio entre as forças provenientes da pressão de um fluido aplicada a um instrumento sob calibração e das massas que agem em um pistão situado no interior de um cilindro.

10.2 Medidor analógico de pressão (manômetro, vacuômetro, manovacuômetro)

Medidor que utiliza um elemento elástico, que é sensível mecanicamente a uma pressão e indica esta grandeza em um mostrador por intermédio de um ponteiro sobre uma escala.

10.3 Medidor digital de pressão (manômetro, vacuômetro, manovacuômetro).

Medidor que fornece uma indicação de pressão na forma digital, em unidade de pressão.

11 CONDIÇÕES AMBIENTAIS

11.1 Calibração nas instalações permanentes

Convém realizar as calibrações a uma temperatura de (20 ± 2) °C e umidade relativa do ar de (50 ± 20) % e “isentas” de vibrações.

Recomenda-se ao laboratório que, em função de serviço específico, necessitar de uma variação menor que 2°C, utilize seu procedimento interno.

11.2 Calibração nas instalações do cliente

No caso de calibração em campo, convém que a variação da temperatura ambiente entre o início e o término da calibração não exceda 4° C.

12 VERIFICAÇÃO INTERMEDIÁRIA DO PADRÃO

Quando os padrões do laboratório são do grupo indireto, é recomendado que os mesmos sejam verificados entre calibrações, de forma a ratificar a confiabilidade metrológica das suas calibrações;

Obs.: Para os serviços realizados nas instalações móveis ou fora das instalações do laboratório, quando o equipamento sair do controle direto do laboratório, convém que o laboratório assegure que o funcionamento e a situação de calibração do equipamento sejam verificados e se mostrem satisfatórios, antes de o equipamento ser recolocado em serviço. Realizar esta verificação na saída e no retorno do equipamento às instalações do laboratório.

13 RECOMENDAÇÕES PARA CALIBRAÇÃO DE MEDIDOR ANALÓGICO DE PRESSÃO

Instrumento	N.º mínimo de pontos	Condição da calibração	Padrão para calibração do instrumento (*)
manômetro, vacuômetro e manovacuômetro analógicos	Classes A4, A3 e A2 10 pontos de 10% em 10% do limite superior da faixa nominal	2 ciclos (no mínimo)	- Balança de pressão; - Padrão cuja classe de exatidão seja 4 vezes melhor que a do instrumento a ser calibrado.
	Classes A1, A, B, C e D 5 pontos, preferencialmente de 20% em 20% do limite superior da faixa nominal		

* Em todos os casos, recomenda-se que seja analisada a relação exatidão do padrão e do instrumento a ser calibrado.

14 PREPARAÇÃO**14.1 Limpeza**

Antes da calibração, é importante que o instrumento esteja totalmente limpo e isento de impurezas que possam causar algum dano ao padrão. Para isto, inserir no Bourdon do instrumento, por intermédio de uma seringa, por exemplo, álcool isopropílico, até que esse fluido saia livre de qualquer impureza.

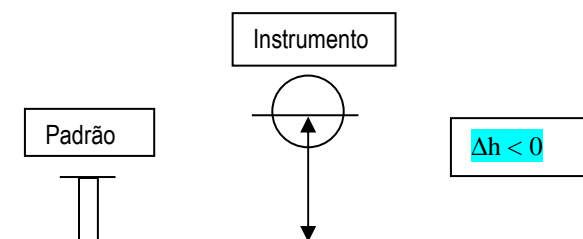
Observar se o instrumento é utilizado para a medição de pressão de oxigênio. Neste caso, calibrar o instrumento num sistema cujo fluido é água, ar ou nitrogênio.

14.2 Posicionamento do instrumento

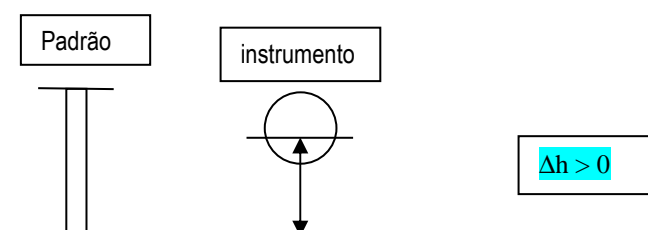
Quando informado pelo cliente, posicionar o manômetro/vacuômetro/manovacuômetro na sua posição de trabalho (vertical ou horizontal), no padrão definido para a calibração.

14.3 Medição do desnível entre o padrão e o instrumento sob calibração

Medir o desnível entre o padrão e o instrumento (de acordo com a ilustração abaixo) indicando se o padrão está acima ou abaixo do medidor.



$\Delta h < 0$: O instrumento em calibração está acima do ponto de medição.



$\Delta h > 0$: O instrumento em calibração está abaixo do ponto de medição.

15 MÉTODO DE CALIBRAÇÃO

15.1 Aplicar pressão (manômetro) ou vácuo (vacuômetro) máximos no instrumento e permanecer nessa condição até que se perceba a estanqueidade do sistema.

Nota: No caso de manovacuômetros, a solicitação será nos dois limites da faixa de indicação do instrumento.

15.2 Aliviar totalmente a pressão (manômetro) ou vácuo (vacuômetro) e aguardar por aproximadamente cinco minutos.

15.3 Antes do registro de cada indicação, é importante bater, levemente, com o dedo, na janela do instrumento para minimizar o efeito do atrito do ponteiro.

15.4 Iniciar a calibração com aplicação crescente (carregamento) de pressão ou vácuo, nos pontos determinados no item 13, até que o instrumento sob calibração indique esses valores. Registrar os valores correspondentes do padrão.

Nota 1: Outros métodos diferentes do recomendado neste documento podem ser utilizados pelo laboratório, desde que apropriadamente validados, conforme requerido na ABNT NBR ISO/IEC 17025.

Nota 2: Quando existente o ponto zero, registrar e apresentar no certificado de calibração.

15.5 Aliviar continuamente (descarregamento) a pressão ou vácuo, registrando os valores de indicação nos mesmos pontos definidos no carregamento. Caso dois pontos pré-determinados sejam ultrapassados, iniciar novamente essa parte do ciclo.

15.6 Repetir os itens 15.4 e 15.5, no mínimo uma vez.

Nota 3: A utilização de acessórios (exemplos: glicerina, selo mecânico, ponteiro de arraste, contato elétrico etc) pode prejudicar a exatidão do instrumento, eventualmente alterando sua classe.

16 INCERTEZA DE MEDIÇÃO

A incerteza de medição é calculada de acordo com planilha apresentada no Anexo C.

Outras fontes de incerteza podem também ser acrescentadas em função das condições ambiente (por exemplo, diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura de referência), características geométricas / montagem (por exemplo, erro de paralaxe), etc.

A parcela referente à resolução do instrumento deve ser avaliada preferencialmente como valor de uma divisão dividida por um número inteiro entre 1 e 10, dependendo da distância entre dois traços consecutivos e da espessura do ponteiro.

17 CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO

Convém que os resultados da calibração sejam emitidos em um certificado de calibração, conforme requisitos do DOQ-Cgcre-047.

ANEXO A

CÁLCULO DA PRESSÃO DE REFERÊNCIA

1 – Uso de balança de pressão

A equação para determinação da pressão (p) é definida pela expressão:

$$p = \frac{[m_p(1-\rho_a/\rho_{mp}) + \sum m(1-\rho_a/\rho_m)]g_l + \sigma C}{A_{0,20}[1+(\alpha_c + \alpha_p)(\theta - \theta_r)][1 + \lambda p_n]} \pm \rho_f g_l \Delta h$$

Onde,

m_p = massa do pistão (kg)

ρ_a = massa específica do ar (kg/m³)

ρ_{mp} = massa específica do material do pistão (kg/m³)

Σm = somatório das massas atuantes no topo do pistão (kg)

ρ_m = massa específica do material das massas (kg/m³)

g_l = aceleração devida à gravidade local (m/s²)

σ = tensão superficial do fluido (N/m)

C = comprimento da circunferência do pistão (m)

$A_{0,20}$ = área do pistão/cilindro (m²)

α_c, α_p = coeficiente de dilatação térmica linear do conjunto pistão/cilindro (°C⁻¹)

$t\theta$ = temperatura no momento da medição (°C)

λ = coeficiente de deformação do conjunto pistão/cilindro (Pressão⁻¹)

p_n = pressão nominal da medição (Pressão)

ρ_f = massa específica do fluido utilizado (kg/m³)

Δh = diferença de altura entre a base do pistão e o instrumento em calibração

2 – Uso de medidor analógico ou digital de referência

A pressão de referência determinada para um medidor padrão é definida a partir da sua curva de calibração a qual é definida pela expressão:

$$P = a + bP_i$$

onde,

P = Pressão de referência para cada indicação do medidor padrão

a = Coeficiente linear da curva de calibração do medidor padrão

b = Coeficiente angular da curva de calibração do medidor padrão

P_i = Pressão indicada pelo medidor padrão

ANEXO B

**INCERTEZA DE MEDIÇÃO NA CURVA DE CALIBRAÇÃO DO PADRÃO
(ESTIMATIVA PONTUAL)**

$$P_{ref} = a + bP_i$$

$$D = n \sum P_i^2 - (\sum P_i)^2$$

$$s^2 = \frac{\sum \Delta^2}{n-2} \quad \Delta = \left| P_{ref_{experimental}} - P_{ref_{calculado\ pela\ curva}} \right|$$

$$s_a^2 = \frac{s^2 \sum P_i^2}{D} \quad u_a = \sqrt{s_a^2}$$

$$s_b^2 = n \frac{s^2}{D} \quad u_b = \sqrt{s_b^2} \quad r_{(a,b)} = - \frac{\sum P_i}{\sqrt{n \sum P_i^2}}$$

Incerteza de qualquer valor interpolado na curva de calibração

$$u_y^2 = \sum_{i=1}^N c_i^2 u_{xi}^2 + 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_i c_j u_{xi} u_{xj} r_{xi,xj} \quad (*)$$

Neste caso, as grandezas de entrada são os coeficientes **a** e **b**; deste modo, então:

$$\frac{\partial P_{ref}}{\partial a} = 1 \quad \text{e} \quad \frac{\partial P_{ref}}{\partial b} = p_i \quad \text{logo, a equação (*) fica:}$$

$$u_y^2 = 1^2 u_a^2 + p_i^2 u_b^2 + 2 \times 1 \times p_i \times u_a u_b r_{a,b}$$

Onde P_i é a pressão indicada pelo manômetro padrão.

*Incerteza de qualquer ponto interpolado na curva de calibração do manômetro padrão.

ANEXO C

EXEMPLO DE CÁLCULO DE INCERTEZA DE UM MANÔMETRO ANALÓGICO

Exemplo de cálculo de incerteza de um manômetro analógico, com as seguintes características:

Faixa nominal: 100 kPa

Valor de uma divisão: 0,5 kPa

Diâmetro do mostrador: 100 mm

Classe conforme norma NBR 14105-1: A2

Padrão utilizado: balança de pressão

Foram efetuados dois ciclos de medições no sentido crescente e decrescente.

Dados da calibração:

Indicação no Instrumento em calibração (kPa)	Indicação no padrão Valor de Referência (kPa)				Desvio padrão (kPa)	Histerese (kPa)
	Crescente		Decrescente			
	1ª série	2ª série	1ª série	2ª série		
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	-	0,00
10,0	9,98	9,99	10,01	9,99	0,0126	-0,02
20,0	19,97	19,98	19,99	19,98	0,0071	-0,01
30,0	29,90	29,92	29,95	29,92	0,0141	-0,03
40,0	39,90	39,90	39,92	39,90	0,0100	-0,01
50,0	49,91	49,90	49,88	49,90	0,0126	0,02
60,0	59,88	59,85	59,86	59,85	0,0141	0,01
70,0	69,80	69,82	69,80	69,82	0,0115	0,00
80,0	79,78	79,80	79,78	79,80	0,0115	0,00
90,0	89,75	89,73	89,78	89,73	0,0236	-0,01
100,0	99,70	99,72	99,70	99,72	0,0115	0,00

PLANILHA DE INCERTEZAS DE MANÔMETROS, MANOVACUÔMETROS E VACUÔMETROS ANALÓGICOS

Ponto 10,0 kPa do exemplo anterior:

Fontes de incerteza	Valor (kPa)	Distribuição	Divisor	Coef. de sensibilidade	Incerteza padronizada (kPa)	Grau de liberdade
Repetição das indicações do instrumento no ponto	0,0126	Normal	$\sqrt{4}$	1	0,0063	3
Incerteza da calibração do padrão	0,01	Normal	2	1	0,005	∞
**Curva de calibração do padrão	=	Normal	-	-	=	=
***Resolução do instrumento	0,10	Retangular*	$\sqrt{6}$ *	1	0,0408	∞
Deriva do Padrão	0,01	Normal	2	1	0,005	∞
Incerteza combinada	-	-	-	-	0,0458	>100
Incerteza expandida	-	****k 95,45%	-	-	0,09	>100

*Distribuição retangular ou distribuição triangular. Caso haja interpolação, usa-se $\sqrt{3}$; quando a indicação for inteira (ponteiro sobre a marca da escala), pode-se adotar $\sqrt{6}$.

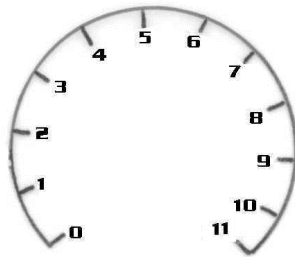
** Curva de calibração do padrão de pressão do tipo indireto (ver anexo B).

*** Ver item 16.

**** Fator de abrangência pode ser calculado e apresentando o número de graus de liberdade efetivo ou considerar $k=2$

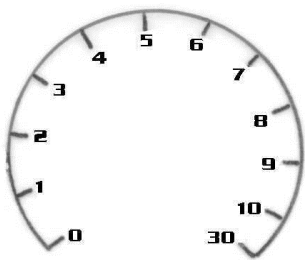
ANEXO D

TIPOS DE ESCALAS DE MEDIDORES ANALÓGICOS DE PRESSÃO

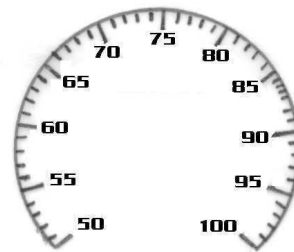


Faixa de escala comum

Faixa de escala expandida – 0 a 10



Faixa de escala de zero suprimido



ANEXO E

TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES

$\uparrow \rightarrow =$	Pa (N/m ²)	bar	(*) psi	(*) kgf/cm ²	(*)(**) mm Hg = Torr	(*)(**) in Hg	(*)(***) m H ₂ O	(*)(***) in H ₂ O
1Pa = (N/m ²)	1	1,000000 $\times 10^{-5}$	1,450377 $\times 10^{-4}$	1,019716 $\times 10^{-5}$	7,500627 $\times 10^{-3}$	2,953003 $\times 10^{-4}$	1,019716 $\times 10^{-4}$	4,014531 $\times 10^{-3}$
1 bar =	1,00000 $\times 10^5$	1	1,450377 $\times 10$	1,019716	7,500627 $\times 10^2$	2,953003 $\times 10$	1,019716 $\times 10$	4,014631 $\times 10^2$
(*) 1 psi =	6,894757 $\times 10^3$	6,894757 $\times 10^{-2}$	1	7,030696 $\times 10^{-2}$	5,171500 $\times 10$	2,036024	7,030696 $\times 10^{-1}$	2,767990 $\times 10$
(*) 1 kgf/cm ² =	9,806650 $\times 10^4$	9,806650 $\times 10^{-1}$	1,422334 $\times 10$	1	7,355602 $\times 10^2$	2,895906 $\times 10$	1,000000 $\times 10$	3,937008 $\times 10^2$
(*)(**) 1 mm Hg =	1,333222 $\times 10^2$	1,333222 $\times 10^{-3}$	1,933675 $\times 10^{-2}$	1,359508 $\times 10^{-3}$	1	3,937008 $\times 10^{-2}$	1,359508 $\times 10^{-2}$	5,352394 $\times 10^{-1}$
(*)(**) 1 in Hg =	3,386384 $\times 10^3$	3,386384 $\times 10^2$	4,911534 $\times 10^{-1}$	3,453150 $\times 10^{-2}$	2,540000 $\times 10$	1	3,453150 $\times 10^{-1}$	1,359508 $\times 10$
(*)(***) 1 m H ₂ O =	9,806650 $\times 10^3$	9,806650 $\times 10^{-2}$	1,422334	1,000000 $\times 10^{-1}$	7,355602 $\times 10$	2,895906	1	3,937008 $\times 10$
(*)(***) 1 in H ₂ O =	2,490889 $\times 10^2$	2,490889 $\times 10^{-3}$	3,612729 $\times 10^{-2}$	2,540000 $\times 10^{-3}$	1,868323	7,355602 $\times 10^{-2}$	2,540000 $\times 10^{-2}$	1

Observações

- (*) $g_N = 9,80665 \text{ m/s}^2$ (aceleração normal da gravidade)
- (**) $\rho_{Hg} = 1,359508 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ (massa específica do mercúrio a 0° C e submetida a uma pressão barométrica de 101325 Pa)
- (***) $\rho_{H_2O} = 1,000000 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ (massa específica da água a 4° C e submetida a uma pressão barométrica de 101325 Pa)