

# INFLUÊNCIA DO TIPO DE ÓLEO UTILIZADO NA CALIBRAÇÃO DE BALANÇA DE PRESSÃO

Paulo R. G. Couto, Luiz Henrique Paraguassú, Walmir Sérgio da Silva

Laboratório de Pressão – DIMEC/DIMCI/INMETRO  
Av. Nossa Senhora das Graças n° 50 - Prédio de Mecânica (3)  
CEP 25.250-020 - Xerém - Duque de Caxias - (RJ)  
e-mail: lapre@inmetro.gov.br

**Resumo** - Este artigo apresenta um estudo da influência do tipo de óleo utilizado na calibração de uma balança de pressão, realizada no Laboratório de pressão do INMETRO (LAPRE). Este tipo de instrumento tem aplicações nas áreas: petroquímica, siderúrgica, nuclear, aeronáutica, etc. Normalmente são utilizados como padrão de referência para a calibração de manômetros, transdutores de pressão, barômetros, etc. Evidenciando a rastreabilidade da medição de pressão, que aliada à confiabilidade se estabelecem como parâmetros importantes para assegurar a qualidade de um determinado produto.

**Abstract** - This paper presents a study of influences produced by the specific type of oil used in dead weight balance calibrations, carried out by the INMETRO's Pressure Laboratory. This type of instrument has applications in the following areas: petrochemistry, steel metallurgy, nuclear, aeronautics, etc. Normally they are used as reference standards for the manometers, transducers and barometers calibrations. Evidencing the traceability of the measurements that allied the confidence are important parameters to assure the quality of the products.

(Key Words: traceability, pressure scale, vacuum measurements, pressure measurements)

## Introdução

No comércio de produtos, um dos parâmetros de comercialização é o resultado de medição. Com o processo de globalização cada vez maior, os blocos econômicos devem exercer todos os esforços para a existência de um mútuo reconhecimento. Para que este objetivo seja alcançado, é de vital importância a confiabilidade e compatibilidade dos resultados de medição. [1]

Medições de pressões de boa exatidão e com baixos valores de incerteza adequados às necessidades de um determinado processo, são importantes para assegurar o seu controle e a respectiva qualidade de um produto.

Os medidores de pressão podem ser classificados em dois grandes grupos: fundamentais e relativos. Os medidores fundamentais medem pressão a partir das grandezas básicas do SI (massa, comprimento e tempo) e os relativos medem a pressão a partir de uma propriedade física ou um fenômeno físico.

O Laboratório de Pressão do INMETRO tem como missão institucional, a realização e disseminação da grandeza pressão do SI através de sua unidade básica - pascal (Pa) no Brasil e o desenvolvimento de novos métodos de calibração / medição.

A escala de pressão que o LAPRE-INMETRO atua é de  $10^{-6}$  Pa a 250 MPa. Na faixa de pressão de 1,4 kPa a 250 MPa, a padronização da grandeza pressão é realizada por padrões fundamentais do tipo balança de pressão, com incerteza média de 50 ppm. Todos estes padrões estão rastreados ao Physicalisch Technische Bundesanstalt (PTB-Alemanha) ou ao National Institute of Standards and Technology (NIST-EUA).

O LAPRE realiza calibrações de medidores de alto-vácuo, barômetros, altímetros, balanças de pressão, transdutores de pressão, etc.

O presente artigo apresenta um estudo da influência do tipo de fluido (óleo) utilizado na calibração de uma balança de pressão.

## A Balança de Pressão

Os componentes básicos de uma balança de pressão são: i) o pistão; ii) o cilindro e iii) conjunto de massas. Este tipo de instrumento funciona com um fluido manométrico hidráulico ou gasoso. A pressão exercida pelo fluido manométrico origina uma força na base do pistão, a qual é equilibrada por outra força proveniente das massas que são colocadas no seu respectivo topo (figura 1). No equilíbrio, então, tem-se a igualdade básica.

$$P \times A = \sum m \times g \quad (1)$$

O diagrama ilustra o funcionamento da balança de pressão em três estados. À esquerda, um pistão está sobre um cilindro. No meio, o pistão está sobre o cilindro com uma força  $F$  apontando para cima. À direita, o pistão está sobre o cilindro com uma força  $mg$  apontando para cima e uma força  $F = P \times A$  apontando para baixo.

Figura (1) Esquema de funcionamento da balança de pressão

Onde:

$P$  = Pressão gerada pelo fluido manométrico.

$\sum m$  = Somatório das massas que atuam no topo do pistão.

$A$  = Área efetiva do conjunto pistão-cilindro.

$g$  = Aceleração local da gravidade.

A equação completa da medição de pressão por uma balança de pressão é definida pela expressão:

$$P = \frac{\sum m(1 - \rho_a / \rho_m)gl + \sigma c}{A_{0,20} [1 + (\alpha_c + \alpha_p)(t - 20)][1 + \lambda p_n]} \pm \rho gh \quad (2)$$

Onde:

$P$  = Pressão de referência em pascal (Pa).

$\Sigma m$  = Somatório de todas as massas atuantes no topo do pistão inclusive a sua respectiva massa (kg).

$\rho_a$  = Massa específica do ar ambiente ( $\text{kg/m}^3$ ) a qual é função da pressão barométrica, umidade e temperatura locais.

$\rho_m$  = Massa específica do material dos pesos, normalmente vem informada no manual do instrumento ( $\text{kg/m}^3$ ).

$g_l$  = Aceleração local da gravidade local ( $\text{m/s}^2$ ).

$\sigma$  = Tensão superficial (N/m), normalmente vem informada no manual do instrumento.

$C$  = Comprimento da circunferência do pistão (m).

$A_{0,20}$  = Área do conjunto pistão cilindro ( $\text{m}^2$ ), deve constar no certificado de calibração do respectivo conjunto pistão cilindro ( $\text{m}^2$ ).

$\alpha_c, \alpha_p$  = Coeficiente de dilatação térmica do cilindro e do pistão ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), normalmente vem informado no manual do instrumento.

$t$  = Temperatura no momento da medição ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$\lambda$  = Coeficiente de deformação do conjunto pistão cilindro ( $\text{Pa}^{-1}$ ), normalmente vem informada no manual do instrumento ou no certificado do respectivo conjunto pistão cilindro.

$p_n$  = Pressão nominal de medida (Pa).

$\rho$  = Massa específica do fluido utilizado na balança de pressão ( $\text{kg/m}^3$ ).

$g$  = Aceleração da gravidade local ( $\text{m/s}^2$ ).

$h$  = Diferença de altura (m) entre a base do pistão da balança de pressão e o ponto de onde deseja-se medir a pressão. ( $h$  é negativo se o ponto de medição estiver acima da base do pistão da balança de pressão e positivo se o ponto de medição estiver abaixo).

## Metodologia

O estudo foi efetuado a partir da calibração de uma balança de pressão marca Budenberg, constituída de dois conjuntos pistão cilindro que operam nas respectivas escalas de pressão de 0,1 a 6 MPa (baixa) e de 2 a 70 MPa (alta). Utilizando-se de dois tipos de óleo de fabricação Shell, cujas especificações são: **Tellus 32** (data mais antiga de fabricação) e **Tellus VG 32** (data mais recente de fabricação). Os dois conjuntos pistão cilindro foram calibrados, cada um em dez pontos de pressão nominal de equilíbrio. O método de calibração empregado foi o "Crossing-Floating", no qual os sistemas de referência e de calibração são interligados, nas condições controladas do laboratório com uma melhor capacidade de medição de 45 ppm. Para os dois conjuntos pistão cilindro Budenberg foram determinadas as suas respectivas áreas efetivas, em cada ponto de pressão nominal de equilíbrio, a partir da seguinte equação:

$$A_e = A_{(0,20)T} (1 + \lambda P_n) = \frac{\Sigma m_i \left( 1 - \frac{\rho_a}{\rho_m} \right) \cdot g_l + \sigma C}{P_{ref} \pm \rho_f g_l \Delta h \times [1 + (\alpha_c + \alpha_p) \times (t - 20)]} \quad (3)$$

Onde:

$A_e$  = Área efetiva ( $m^2$ ).

$P_{ref}$  = Valor da Pressão de Referência (Pa) em cada ponto de equilíbrio.

$\sum m_T$  = Somatório das massas atuantes no topo do pistão do conjunto calibrado.

$\rho_a$  = Massa específica do ar ambiente ( $kg/m^3$ ).

$\rho_m$  = Massa específica do material dos pesos da balança que está sendo calibrada ( $kg/m^3$ ).

$g_l$  = Aceleração local da gravidade local ( $m/s^2$ ).

$\sigma$  = Tensão superficial (N/m) do fluido da balança de pressão calibrada.

$C$  = Comprimento (m) da circunferência do pistão em calibração.

$A_{0,20}$  = Área ( $m^2$ ) do sistema em calibração.

$\alpha_c, \alpha_p$  = Coeficiente de dilatação térmica ( $^{\circ}C^{-1}$ ) do conjunto pistão cilindro em calibração

$t$  = Temperatura no momento da medição ( $^{\circ}C$ ).

$\lambda$  = Coeficiente de deformação do conjunto pistão cilindro ( $Pa^{-1}$ ) do conjunto em calibração.

$p_n$  = Pressão nominal de medida (Pa).

$\rho_f$  = Massa específica do fluido utilizado na calibração ( $kg/m^3$ ).

$g_l$  = Aceleração da gravidade local ( $m/s^2$ ).

$\Delta h$  = Diferença de altura (m) entre as bases dos pistões de referência e teste.

### Estimativa da Incerteza na calibração

A estimativa da incerteza de calibração para os dois conjuntos pistão cilindro Budenberg, seguiu a metodologia do “Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement” (ISO GUM 95). [5] e [6]

### Resultados

Os valores das áreas efetivas, em função da pressão para cada conjunto pistão cilindro utilizando cada tipo de óleo são apresentados nas tabelas (1) e (2) :

#### Pistão de 0,1 a 6 MPa

Pressão Nominal (bar)	Área ( $mm^2$ ) Óleo Tellus VG 32	Área ( $mm^2$ ) Óleo Tellus 32
6	80,63956	80,60645
12	80,64102	80,63300
18	80,64126	80,63760
24	80,64163	80,63888
30	80,64254	80,63995
36	80,64265	80,64102
42	80,64326	80,64133
48	80,64308	80,64176
54	80,64356	80,64225
60	80,64368	80,64261

Tabela (1)

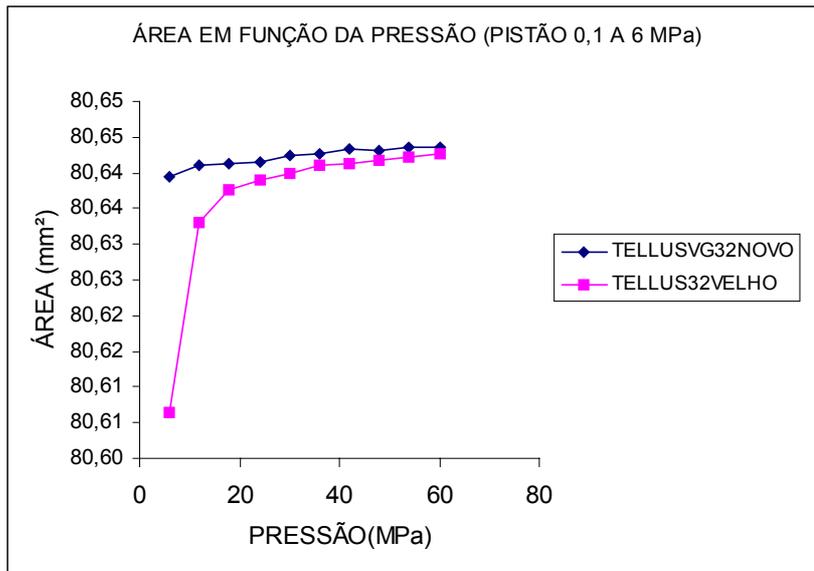


Gráfico (1) Área Efetiva vs Pressão ( Pistão 0,1 a 6 MPa)

**Pistão de 2 a 70 MPa**

Pressão Nominal (bar)	Área (mm <sup>2</sup> ) Óleo Tellus VG 32	Área (mm <sup>2</sup> ) Óleo Tellus 32
70	8,063805	8,061753
140	8,064105	8,062716
210	8,064258	8,063799
280	8,064247	8,063980
350	8,064319	8,064184
420	8,064417	8,064339
490	8,064562	8,064430
560	8,064532	8,064449
630	8,064708	8,064632
700	8,064719	8,064632

Tabela (2)

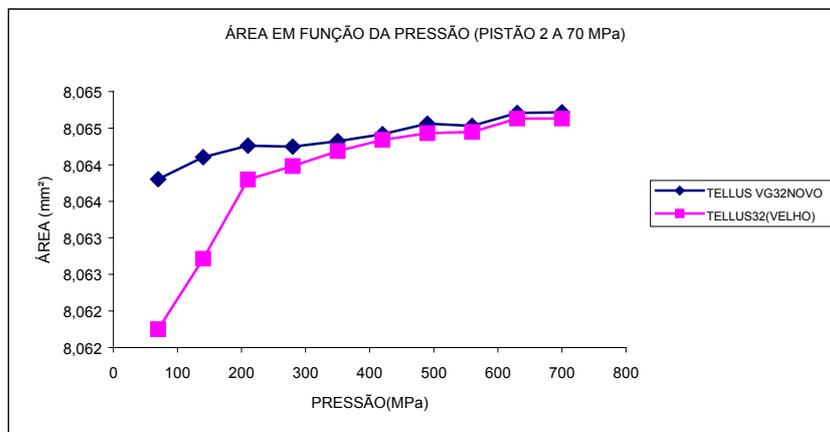


Gráfico (2)

Os valores característicos para cada sistema com suas respectivas incertezas em função da pressão nominal são apresentados nas tabelas ( 3 / 4 ) e ( 5 / 6 ) respectivamente.

**Valores Característicos do Sistema de 0,1 a 6 MPa**

	Óleo Tellus VG 32	Óleo Tellus 32
Área (mm <sup>2</sup> )	80,6399	80,6225
Desvio Padrão (mm <sup>2</sup> )	0,00042	0,0082
Coef. Deformação (bar <sup>-1</sup> )	8,6E-07	8,6E-07

Tabela (3)

**Tabela das Incertezas em Função da Pressão para o Sistema de 0,1 a 6 MPa**

Pressão (bar)	U (bar) / Óleo Tellus VG 32	U (bar) / Óleo Tellus 32
6	0,00023	0,0005
12	0,00053	0,0015
18	0,00082	0,0030
24	0,0011	0,0051
30	0,0014	0,0077
36	0,0018	0,011
42	0,0021	0,0148
48	0,0024	0,0192
54	0,0028	0,0242
60	0,0031	0,030

Tabela (4)

**Valores Característicos do Sistema de 2 a 70 MPa**

	Óleo Tellus VG 32	Óleo Tellus 32
Área (mm <sup>2</sup> )	8,063872	8,062422
Desvio Padrão (mm <sup>2</sup> )	0,00008	0,00051
Coef. Deformação (bar <sup>-1</sup> )	8,6E-07	8,6E-07

Tabela (5)

**Tabela das Incertezas em Função da Pressão para o Sistema de 2 a 70 MPa**

Pressão (bar)	U (bar) / Óleo Tellus VG 32	U (bar) / Óleo Tellus 32
70	0,0061	0,0069
140	0,012	0,015
210	0,018	0,025
280	0,023	0,038
350	0,029	0,054
420	0,035	0,073
490	0,041	0,096
560	0,048	0,12
630	0,057	0,15
700	0,067	0,19

Tabela (6)

**Conclusões**

A partir dos gráficos (1) e (2) pode-se concluir que o óleo Tellus VG 32 é o mais indicado para a balança de pressão Budenberg. Porque com este tipo de óleo, as respectivas variações das áreas dos dois sistemas seguem fielmente às suas leis de deformação.

Observando as tabelas (3) e (5) conclui-se que o tipo de óleo utilizado na calibração da balança Budenberg, causa uma diferença na determinação das áreas ( $A_{0,20}$ ) dos seus respectivos conjuntos pistão cilindro de 0,02%, a qual é compatível com a classe de exatidão deste tipo de instrumento. Porém o tipo de óleo utilizado na calibração ocasiona uma diferença entre os respectivos desvios padrão das áreas dos conjuntos pistão cilindro. No caso específico da balança de pressão Budenberg, a relação entre os desvios padrão para o conjunto de baixa pressão chega a ser da ordem de vinte.

Pode ser observado também nas tabelas (4) e (6) que o tipo de óleo utilizado na calibração afeta por demais a estimativa da incerteza do sistema de baixa pressão (0,1 a 6 MPa), e neste caso específico a relação entre as incertezas chega a uma ordem de dez.

Observando os gráficos (1) e (2) conclui-se que o tipo de óleo utilizado, causa uma diferença maior entre as áreas determinadas para os dois sistemas nos seus respectivos inícios de escala. No caso específico desta balança de pressão Budenberg, a diferença para os dois sistemas é em torno de 0,04%.

Os gráficos (1) e (2) mostram também que a medida que se eleva a pressão, a determinação da área em função da pressão para os dois conjuntos pistão cilindro independe do tipo de óleo utilizado.

O tipo de óleo utilizado na calibração dos conjuntos pistão cilindro desta balança específica, não influi na determinação dos seus respectivos coeficientes de deformação.

Todas estas diferenças encontradas em função do tipo de óleo utilizado na balança Budenberg, não são valores que comprometem a classe de exatidão do instrumento. Porém neste caso específico, demonstra-se que o instrumento apresenta qualidades metrológicas superiores quando se utiliza um óleo adequado.

A maneira como foi realizado este estudo não permite qualquer generalização de conclusões em relação: às qualidades metrológicas deste tipo de instrumentos, ao tipo/modelo de instrumento, ao fabricante e etc.

## Referências

- [1] Couto, Paulo. R. G., Monteiro, Luiz C., - A Função de um Laboratório de Metrologia de acordo com o Contexto da Globalização - Metrologia 2000 - Dezembro de 2000.
- [2] Couto, Paulo. R. G., Franklin, Túlio P., Oliveira, Jackson S., Cinelli, Leonardo R., - Apresentação das Planilhas de Incerteza de Todos os Serviços de Calibração realizados pelo Laboratório de Pressão do Inmetro - Metrologia 2000 - Dezembro de 2000.
- [3] Lewis, S., Peggs, G., - The Pressure Balance: A Practical Guide to its Use, National Physical Laboratory, HMSO - 1992.
- [4] Couto, Paulo. R. G., Schoeler, N., - Características e Confiabilidade Metrológica de uma Balança de Pressão, XII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Vol I, p. 261 – 264 - 1993.
- [5] Couto, Paulo. R. G., - Incerteza de Medição de acordo com o WECC Doc. 19-1990, Revista INMETRO 2, nº 1 - 1993.
- [6] International Organization for Standardization (ISO), 1993, revisada e reeditada em 1995, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, Geneva.
- [7] Dadson, Robert S., - The Pressure Balance Theory na Practice, National Physical Laboratory -1982.
- [8] Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia (VIM) - Inmetro, 1995.