

Comparação entre calibrações de TRANSDUTORES de pressão

De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM-2008), um transdutor é definido como um dispositivo utilizado em medição, que fornece uma grandeza de saída, a qual tem uma relação específica com uma grandeza de entrada. Geralmente apresenta como indicação uma saída elétrica a qual tem uma relação com a pressão de entrada aplicada. Foi avaliada a estabilidade de um transdutor de pressão a partir do estudo da homogeneidade entre os coeficientes das curvas de calibração obtidas ao longo do tempo

[Paulo Roberto Guimarães Couto, Luiz Henrique P. de Oliveira, Jackson da Silva Oliveira, Walmir Sérgio da Silva e Rodrigo de Sousa Soares]

O transdutor é um dispositivo utilizado em medição, que fornece uma grandeza de saída a qual tem uma relação específica com uma grandeza de entrada. O transdutor de pressão geralmente apresenta como saída uma grandeza elétrica que possui uma relação com a pressão de entrada aplicada. Dependendo do fenômeno elétrico envolvido na medição, o transdutor de pressão pode ser classificado em resistivo, capacitivo, indutivo ou piezométrico.

O transdutor estudado neste trabalho foi do tipo resistivo que opera numa faixa de tensão de alimentação de 10,5 a 30VDC e com saída de corrente de 4 a 20 mA. Foram realizadas três calibrações do transdutor de pressão ao longo de três dias. A metodologia de avaliação da comparação entre calibrações do transdutor de pressão foi elaborada a partir do estudo do comportamento das curvas de calibração do transdutor ao longo do tempo.

A relação entre as grandezas de saída (corrente elétrica) e a pressão aplicada para o transdutor utilizado é estabelecida por um polinômio de primeiro grau (curva de calibração), visto que, as curvas de calibração obtidas neste caso apresentaram coeficiente de regressão (R^2) próximo da unidade para o polinômio escolhido.

Este artigo tem por objetivos apresentar a avaliação da estabilidade de um transdutor de pressão, analisar a compatibilidade entre os resultados de medição obtidos a partir das suas curvas de calibração, como também, consolidar uma proposta de metodologia para o estudo da compatibilidade entre resultados de medição de uma comparação quando for utilizado um transdutor de pressão como dispositivo de transferência. Em cada calibração o transdutor foi comparado diretamente com um padrão de referência (balança de pressão) do Laboratório de Pressão do Inmetro (Lapre), em dois ciclos de pressão (carregamento/descarregamento) na faixa de 0 a 100 bar (0 a 10 MPa), totalizando 40 pontos de medição. A partir dos resultados obtidos nas medições foram determinadas três curvas de calibração do transdutor, as quais relacionam a corrente elétrica (mA) de saída com a pressão (bar) medida pelo padrão de referência. As três curvas de calibração do transdutor

são definidas por (1):

$$I = a + bP \quad (1)$$

onde:

I = corrente elétrica de saída da curva de calibração (mA);

P = pressão de entrada da curva de calibração (bar);

a e b = coeficientes linear (intercepção) e angular (inclinação) da curva de calibração, respectivamente.

Com os resultados apresentados para as três curvas de calibração do transdutor, foi realizado o estudo da homogeneidade entre os valores de intercepções e inclinações das curvas. Conforme a bibliografia [1] existe homogeneidade entre as intercepções de duas curvas de calibração quando $t_{calculado} < t_{tabelado}$, para uma determinada probabilidade (teste t). Sendo:

$$t_{calculado} = \frac{|a_i - a_j|}{\sqrt{\frac{n_{a_i} + n_{a_j}}{n_{a_i} \cdot n_{a_j}} \cdot S_{P_{ij}}^2}} \quad (2)$$

onde:

a_i e a_j = coeficientes lineares das curvas analisadas;

$S_{P_{ij}}$ = desvio padrão combinado das variâncias ($S_{a_i}^2$ e $S_{a_j}^2$) dos coeficientes lineares;

n_{a_i} e n_{a_j} = número total de pontos de cada uma das duas curvas de calibração, respectivamente; e

$$S_{P_{ij}} = \sqrt{\frac{(n_{a_i} - 2) \cdot S_{a_i}^2 + (n_{a_j} - 2) \cdot S_{a_j}^2}{n_{a_i} + n_{a_j} - 4}} \quad (3)$$

De acordo com [2], existe homogeneidade entre os coeficientes angulares de duas curvas de calibração quando $t_{calculado} < t_{tabelado}$ para uma determinada probabilidade. Sendo:

$$t_{calculado} = \frac{|b_i - b_j|}{\sqrt{S_{b_i}^2 + S_{b_j}^2}} \quad (4)$$

b_i e b_j = coeficientes angulares de cada uma das duas curvas analisadas; 2 2

$S_{b_i}^2$ e $S_{b_j}^2$ = variâncias dos coeficientes angulares de cada uma das duas curvas analisadas.

Anteriormente à avaliação da homogeneidade entre os valores dos coeficientes lineares e também entre os coeficientes angulares, foram realizados estudos das homogeneidades entre as variâncias dos mesmos aplicandose o critério F [1].

Paralelamente ao estudo, foi realizado o cálculo do erro normalizado (En) para cada valor nominal de pressão objetivando analisar da compatibilidade entre resultados de medição obtidos por cada curva de calibração. Conforme [1], o En é definido por (5):

$$E_n = \frac{|X_i - X_j|}{\sqrt{U_{X_i}^2 + U_{X_j}^2}} \quad (5)$$

U_x e U_y = incertezas expandidas de cada resultado;

X_i e X_j = valores dos resultados de medição.

Resultados

Na tabela 1 são apresentados os valores dos coeficientes lineares e angulares obtidos para as três curvas de calibração do transdutor de pressão:

Tabela 1 – Coeficientes das curvas de calibração do transdutor

Curva	Inclinação (mA)	Intercepção (mA/bar)
I	0,090006314	1,000255866
II	0,090006492	1,000255861
III	0,090006665	1,000256272

Na tabela 2 constam os valores dos desvios-padrão das intercepções e inclinações das curvas de calibração dos transdutores, com os respectivos valores de Fcalculado, e Ftabelado, referentes a comparação dos valores dois a dois.

Tabela 2 - Valores de Fcalculado, Ftabelado, referentes a comparação das variâncias dos coeficientes das três curvas de calibração

Curva	Desvio padrão Intercepções	relações	F _{calculado}	F _{tabelado (95%)}
I	9,58547 E-05	(I/II)	1,002	1,716
II	9,59328 E-05	(I/III)	1,007	
III	9,62127 E-05	(II/III)	1,003	
Curva	Desvio padrão Inclinações	relações	F _{calculado}	
I	1,54739 E-06	(I/II)	1,002	
II	1,54865 E-06	(I/III)	1,007	
III	1,55318 E-06	(II/III)	1,003	

A tabela 3 apresenta os desvios-padrão combinados dos coeficientes lineares, como também os valores de tcalculado e ttabelado utilizados para a avaliação da homogeneidade entre os valores de intercepções dois a dois.



Fornos para Calibração



VISOMES PLUS

PRATICIDADE E



PRECISÃO

DE TEMPERATURA



(-40 à 1100°C)

www.visomes.com.br
Tel.: (11) 5662-9911

Tabela 3 - Valores de desvio padrão combinado, $t_{\text{calculado}}$, e t_{tabelado} , referentes a comparação das intersecções das três curvas de calibração

Combinação	$s_{p_{ij}}$	relação	$t_{\text{calculado}}$	$t_{\text{tabelado}} (95\%)$
(I/II)	9,58937 E-05	(I/II)	0,0002	1,992
(I/III)	9,60339 E-05	(I/III)	0,0189	
(II/III)	9,59164 E-05	(II/III)	0,0191	

Na tabela 4 são apresentados os valores de $t_{\text{calculado}}$ e t_{tabelado} para a avaliação da homogeneidade entre os valores de inclinações dois a dois.

Tabela 4 - Valores de $t_{\text{calculado}}$, t_{tabelado} , referentes a comparação das inclinações das três curvas de calibração

Relação	$t_{\text{calculado}}$	$t_{\text{tabelado}} (95\%)$
(I/II)	0,081	1,992
(I/III)	0,160	
(II/III)	0,079	

Nas tabelas 5, 6 e 7 são apresentados resultados de medição, as incertezas expandidas para 95% e os erros normalizados para avaliação da compatibilidade entre os resultados de medição obtidos pelas curvas de calibração.

Tabela 5 – Resultados de medição obtidos pelas curvas de calibração e E_n das comparações realizadas (curvas I vs II)

Pn (bar)	Corrente calculada (mA)		Incerteza expandida (mA)		E_n
	I	II	I	II	
10	1,9003	1,9003	0,0012	0,0012	0,001
20	2,8004	2,8004	0,0012	0,0012	0,002
30	3,7004	3,7005	0,0012	0,0012	0,003
40	4,6005	4,6005	0,0012	0,0012	0,004
50	5,5006	5,5006	0,0012	0,0012	0,005
60	6,4006	6,4006	0,0012	0,0012	0,006
70	7,3007	7,3007	0,0012	0,0012	0,008
80	8,2008	8,2008	0,0014	0,0014	0,007
90	9,1008	9,1008	0,0012	0,0012	0,010
100	10,0009	10,0009	0,0012	0,0012	0,011

MEDIÇÃO, MONITORAMENTO, E VALIDAÇÃO

AMBIENTES CONTROLADOS
UMIDADE | TEMPERATURA | CO₂ | E MAIS...

Faça o Download do Guia de Qualidade:

- Manual de Calibração
- Fórmulas para Cálculo de Umidade
- Guia de Mapeamento
- Calculadora de Umidade
- Artigo sobre Validação Térmica



Ligação Gratuita 0800 891 7392
instruments@vaisala.com

GRÁTIS
Guia de Qualidade!

www.vaisala.com/Kit-de-Qualidade

VAISALA

Tabela 6 – Resultados de medição obtidos pelas curvas de calibração e En das comparações realizadas (curvas I vs III)

Pn (bar)	Corrente calculada (mA)		Incerteza expandida (mA)		En
	I	III	I	III	
10	1,9003	1,9003	0,0012	0,0012	0,0024
20	2,8004	2,8004	0,0012	0,0012	0,0045
30	3,7004	3,7005	0,0012	0,0012	0,0066
40	4,6005	4,6005	0,0012	0,0012	0,0088
50	5,5006	5,5006	0,0012	0,0012	0,0109
60	6,4006	6,4007	0,0012	0,0012	0,0130
70	7,3007	7,3007	0,0012	0,0012	0,0151
80	8,2008	8,2008	0,0014	0,0014	0,0141
90	9,1008	9,1009	0,0012	0,0012	0,0192
100	10,0009	10,0009	0,0012	0,0012	0,0212

A tabela 2 apresenta os valores de $F_{\text{calculado}}$ menores do que os valores de F_{tabelado} para a avaliação da homogeneidade entre as dispersões dos coeficientes lineares e angulares.

As tabelas 3 e 4 mostram os valores de $t_{\text{calculado}}$ menores do que os valores de t_{tabelado} para a avaliação da homogeneidade entre as dispersões dos coeficientes lineares e angulares respectivamente.

Tabela 7 – Resultados de medição obtidos pelas curvas de calibração e En das comparações realizadas (curvas II vs III)

Pn (bar)	corrente calculada (mA)		Incerteza expandida (mA)		En
	II	III	II	III	
10	1,9003	1,9003	0,0012	0,0012	0,0013
20	2,8004	2,8004	0,0012	0,0012	0,0024
30	3,7005	3,7005	0,0012	0,0012	0,0034
40	4,6005	4,6005	0,0012	0,0012	0,0045
50	5,5006	5,5006	0,0012	0,0012	0,0055
60	6,4006	6,4007	0,0012	0,0012	0,0065
70	7,3007	7,3007	0,0012	0,0012	0,0076
80	8,2008	8,2008	0,0014	0,0014	0,0071
90	9,1008	9,1009	0,0012	0,0012	0,0096
100	10,0009	10,0009	0,0012	0,0012	0,0106

Um nome e uma marca não se constroem de um dia para o outro.

Desde 1992, o Instituto Falcão Bauer da Qualidade atua na área de Certificação de Produtos e Sistemas de Gestão, através do processo de Avaliação da Conformidade.

Acreditado por organismos como INMETRO, ANSI e ABIQUIM, a marca do IFBQ está presente no dia a dia dos consumidores brasileiros, garantindo a qualidade dos produtos e serviços, principalmente no que se refere a segurança, a saúde e a preservação do meio ambiente.



www.ifbauer.org.br
ifbq@ifbauer.org.br
(55 11) 3611-1729

Instituto Falcão Bauer da Qualidade:
Acredite neste nome!



Na tabela 5 são apresentados os valores dos Erros normalizados sempre menores do que a unidade, estes valores se referem à avaliação da compatibilidade entre resultados de medição obtidos pelas curvas de calibração duas a duas.

As dispersões dos coeficientes lineares e angulares das três curvas de calibração do transdutor são homogêneas entre si respectivamente, porque $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ para uma probabilidade de abrangência de 95%. Os valores dos coeficientes lineares e angulares das três curvas de calibração do transdutor são homogêneos entre si respectivamente, porque $t_{\text{calculado}} < t_{\text{tabelado}}$ para uma probabilidade de abrangência de 95%.

Os resultados de medição obtidos pelas três curvas de calibração apresentam compatibilidade entre si, porque os valores dos erros normalizados calculados para a três curvas de calibração sempre foram menores do que a unidade, na totalidade do número de pontos de calibração do instrumento. Dos três parágrafos mencionados anteriormente conclui-se que as três curvas de calibração do transdutor, determinadas ao longo do tempo, são homogêneas para uma probabilidade de abrangência de 95% e apresentam resultados de medição compatíveis entre si. Devido ao presente trabalho não se deter simplesmente ao estudo do Erro Normalizado para a avaliação da com-

paração, esta metodologia pode ser recomendada para a avaliação de uma comparação laboratorial que utilize um transdutor de pressão com curva de calibração semelhante ao instrumento utilizado no estudo realizado. ☺

REFERÊNCIAS

[1] Couto, P. R. G., "Estimativa da Incerteza da Massa Específica da Gasolina pelo ISO GUM 95 e Método de Monte Carlo e seu Impacto na Transferência de Custódia", Dissertação de Mestrado, Escola de Química/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

[2] Massart, D.L.; Vandeginste, B. M. G.; Buydens, L. M. C.; Jong, S.; Lewi, P. J.; Smeyers-Verbeke, J. Handbook of Chemometrics and Qualimetrics. Part A. Volume 20A. Elsevier Science B.V. 1997.867p.

Paulo Roberto Guimarães Couto, Luiz Henrique Paraguassú de Oliveira, Jackson da Silva Oliveira, Walmir Sérgio da Silva e Rodrigo de Sousa Soares são servidores do Inmetro - prcouto@inmetro.gov.br, paraguassu@inmetro.gov.br, jsoliveira@inmetro.gov.br, wssilva@inmetro.gov.br, rssoares@inmetro.gov.br

Vinte anos de Acreditação pela Cgcre do Inmetro
Calibrações e Ensaios

São 45 anos dedicados a atividades metrológicas no cenário nacional e internacional, sendo 20 anos de Acreditação pelo Inmetro, contribuindo para o crescimento e o desenvolvimento tecnológico da sociedade brasileira.
Agradecemos a todos que fizeram parte desta história e aos que nos ajudarão a construir o futuro.

LABELO 20 ANOS
PUCRS

LABELO – Laboratórios Especializados em Eletroeletrônica
Av. Ipiranga, 6681 – Prédio 30 – Bloco A – Sala 210
CEP: 90619-900 – Porto Alegre – RS
Fone: 51 3320 3551 - Fax: 51 3320 3883

Consulte escopo acreditado no site:
www.labelo.com.br
labelo@pucrs.br

PUCRS
VIVA ESSE MUNDO