

IMPLANTAÇÃO DE UM PROGRAMA DE CALIBRAÇÃO DE MEDIDORES ANALÓGICOS DE PRESSÃO.

LUÍS E. V. **ALVES JR.**¹; PRISCILA **MORENO**²; ALFREDO A. **VITALI**³; VALÉRIA D. A. **ANJOS**⁴.

Nº 0801001

RESUMO:

O Grupo de Engenharia e Pós-colheita - GEPC vem implementando o sistema de calibração interna, atendendo as exigências das normas ISO 9001-2000 e ISO/ IEC 17025-2005. O objetivo deste trabalho foi implementar um sistema de controle dos dispositivos de medição de pressão, utilizando meios e métodos padronizados, atendendo as necessidades de inspeção e calibração interligadas às características metrológicas dos processos de medição. O grupo técnico foi treinado e capacitado sobre a sistemática de calibração em manômetros e vacuômetros. O trabalho gerou os seguintes resultados: escrita de norma interna para calibração dos equipamentos; calibração de manômetros e vacuômetros; cálculo de incerteza e emissão de certificado de calibração.

ABSTRACT

The Engineering and Post Harvest Group (GEPC) has been implementing the internal calibration gauges system to meet the requirements of ISO 9001-2000 and ISO/IEC 17025-2005 regulations. The aim of this work was to improve a control system of pressure gauges measurement using standard methods to comply with the inspections and calibration needs related to metrological characteristics of the measuring process. The technical staff was trained and capacitated on the calibration system of manometers and vacuumeters. The work generated the internal rules for equipment calibration; manometers e vacuumeters calibration; uncertainty calculation and the design of calibration certification.

INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos dispositivos de medição utilizados no processo produtivo tornou-se uma rotina para muitas empresas, devido à necessidade de certificarem seu sistema de gestão da qualidade com base nos requisitos estabelecidos pelas ISO 9001-2000 e ISO 17025-2005.

1. Bolsista CNPq: Graduação em Engenharia de Alimentos, FEA/UNICAMP, Campinas-SP, ✉ luvieira_junior@yahoo.com.br

2. Bolsista CNPq: Graduação em Administração, Anhanguera Institucional/ FAC II, Campinas-SP

3. Orientador: Pesquisador, GEPC/ITAL, Campinas-SP

4. Co-orientador: Pesquisador, GEPC/ITAL, Campinas-SP

Mas para atender às exigências das normas e realizar um trabalho com qualidade, com geração de resultados confiáveis, os laboratórios têm que investir no capital humano, físico e de conhecimento visando atingir os objetivos. Para tanto, os laboratórios necessitam capacitar o sistema com processos de controle dos dispositivos de medição, qualificar e ou utilizar os conhecimentos científicos do próprio corpo técnico, treinar os funcionários, pela relevância dos serviços realizados.

Desta forma, o Grupo de Engenharia e Pós-colheita vem implementando o sistema interno de calibração atendendo aos requisitos das normas ISO 9001-2000 e ISO/IEC 17025-2005. Para tanto, o método utilizado foi: Capacitação do corpo técnico sobre a sistemática de calibração de manômetros através de treinamento teórico e prático no Laboratório de Metrologia (CT-UNICAMP); conhecimento das normas brasileiras (INMETRO) e internacionais (VIM e EURACHEM), consulta em livros e manuais técnicos de metrologia, resultando na calibração de equipamentos e implementação de normas internas.

OBJETIVOS

Implementar um sistema de controle dos dispositivos de medição de pressão, utilizando meios e métodos padronizados, atendendo às necessidades de inspeção e calibração interligadas às características metrológicas dos processos de medição a serem aplicados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Método de calibração

A calibração de manômetros foi realizada seguindo-se a metodologia indicado em INMETRO (2006) através de uma bomba comparativa tipo volante da marca Record, dois manômetros padrão sendo um com escala de 0 a 4 kp/cm^2 , divisão de escala de 0,02 kp/cm^2 , precisão de $\pm 0,5\%$ e incerteza expandida de 0,07 kp/cm^2 e outro com escala de 0 a 60 kp/cm^2 , divisão de escala de 0,5 kp/cm^2 , precisão de $\pm 0,5\%$ e incerteza expandida de 0,30 kp/cm^2 para realizar as comparações. Foi realizada a calibração de sete manômetros.

A calibração dos vacuômetros foi realizada utilizando-se um manômetro de coluna de mercúrio em "U". Em uma das extremidades, foram conectados uma bomba de vácuo (Cenco, Hyvac 14) e o vacuômetro a ser calibrado, sendo que a outra extremidade ficou aberta para a atmosfera. Foram aplicados diferentes níveis de vácuo onde o controle era realizado tendo como base o valor desejado na escala do mensurando (vacuômetro a ser calibrado) para realizar as comparações. Foram calibrados dez vacuômetros, sendo dois internos e oito externos.

Cálculo das incertezas

Para o cálculo da incerteza dos manômetros e vacuômetros, foram consideradas as fontes de incerteza dos tipos A e B, apresentados abaixo (MENDES & ROSÁRIO, 2005).

Incerteza Tipo A (repetitividade): Aquelas que são avaliadas por métodos estatísticos (Equação 1).

$$U(\Delta i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_{ci})^2}{n}} \quad (1)$$

Onde: $U(\Delta i)$: incerteza combinada (agrupada) do tipo A;
 U_{ci} : incerteza combinada para o i-ésimo ponto de calibração;
n: número de pontos de calibração.

Incertezas Tipo B: Aquelas que são avaliadas por outros métodos (Equação 2). Fornece tanto a incerteza do instrumento padrão quanto a incerteza do mensurando, além da histerese.

$$U(x) = \frac{U_x}{k} \quad (2)$$

Onde: U_x : incerteza referente ao fato de existir uma histerese, e às incertezas das escalas dos instrumentos
k: fator baseado na distribuição de probabilidade das medições para calcular a incerteza com maior confiabilidade

Após a obtenção dos valores de incerteza dos tipos A e B, calcula-se a incerteza combinada (Equação 3) que é resultado de todas as incertezas encontradas.

$$U_c = \sqrt{U(\Delta i)^2 + U(U_p)^2 + U(U_{Ri})^2 + U(Hist)^2} \quad (3)$$

Onde: $U(\Delta i)$: repetitividade das medições
 $U(U_p)$: incerteza do instrumento padrão utilizado na calibração
 $U(U_{Ri})$: incerteza do mensurando
 $U(Hist)$: histerese máxima

Em seguida, calcula-se a incerteza expandida (Equação 4), que fornece o grau de confiança das medições.

$$U_{exp} = k \cdot U_c \quad (4)$$

Onde: U_c : incerteza combinada
k: fator de abrangência garantir a confiança da medição

Foram calculados os valores das incertezas de todos os manômetros e vacuômetros submetidos à calibração.

RESULTADOS

Para ilustrar a metodologia de calibração e determinação da incerteza, são apresentados abaixo os cálculos referentes à calibração de um manômetro de marca Phoenix, com escala 0 a 3 kgf/cm² e resolução 0,1 kgf/cm². Os cálculos de incerteza são válidos para os manômetros e vacuômetros.

A **TABELA 1** apresenta os valores de pressão fixados no mensurando junto com as leituras obtidas no instrumento padrão e os desvios padrões para o cálculo da repetitividade das leituras do manômetro.

TABELA 1. Resultado da determinação da repetitividade de manômetros

Mensurando	Leituras kgf/cm ²						DP	DPM	DPM ² (U _{ci}) ²
	S	D	S	D	S	D			
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	0,48	0,48	0,48	0,48	0,50	0,50	0,01	0,004	0,00
1,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00
1,5	1,50	1,48	1,50	1,50	1,50	1,50	0,01	0,003	0,00
2,0	2,02	2,02	2,02	2,00	2,00	2,00	0,01	0,004	0,00
2,5	2,52	2,52	2,52	2,52	2,50	2,52	0,01	0,003	0,00
3,0	3,00	3,00	2,98	3,00	3,00	2,98	0,01	0,004	0,00

Onde: S: leitura na subida da escala; D: leitura na descida da escala; DP: Desvio Padrão; DPM: Desvio Padrão da média ou repetitividade ($DP \div \sqrt{6}$)

O valor da incerteza combinada do Tipo A (repetitividade) é obtido através da Equação (1):

$$\sum \frac{(U_{ci})^2}{7} = 0,00001; \quad \sqrt{\sum \frac{(U_{ci})^2}{7}} = U(\Delta i) = 0,0033$$

Para o cálculo da **incerteza herdada do instrumento padrão** ($U(U_p)$), adotou-se diferentes valores de divisor para os manômetros e vacuômetros, baseado na distribuição de probabilidade na medida do instrumento padrão. Como o manômetro padrão utilizado para a calibração dos manômetros havia sido previamente certificado, adotou-se uma distribuição normal, onde $k = 2$. No caso dos vacuômetros, como havia pouca informação sobre a incerteza inerente ao manômetro de coluna de mercúrio, foi adotada uma distribuição retangular, onde $k = \sqrt{3}$.

Através da Equação (2) com $U_p = 0,067$ (valor obtido na certificação) e $k = 2$ obtém-se:

$$U(U_p) = \frac{0,067}{2} = 0,0335$$

O **cálculo da incerteza do mensurando** depende da incerteza da resolução do instrumento (U_{Ri}), que é dado pela metade da resolução do instrumento. Nos instrumentos analisados, utilizou-se uma distribuição triangular para os manômetros e vacuômetros.

Utilizando a Equação (2), com $U_{Ri} = 0,05$ e $k = \sqrt{6}$ (distribuição triangular), é obtido o valor de $U(U_{Ri})$.

$$U(U_{Ri}) = \frac{0,05}{\sqrt{6}} = 0,02042$$

O **cálculo da incerteza devido à histerese** é realizado após a determinação da histerese; onde determinou-se a diferença entre as médias de subida e descida da escala de calibração, como indicado na Tabela 2.

TABELA 2. Resultado das leituras para determinação de histerese máxima do manômetro.

Média subida	Média descida	Histerese (diferença entre subida e descida)
0,00	0,00	0,00000
0,48	0,49	-0,01333
1,00	1,00	0,00000
1,49	1,50	-0,00667
2,02	2,00	0,02000
2,52	2,51	0,00667
2,99	2,99	0,00000

Como resultado, utilizou-se o maior valor de histerese, denominado histerese máxima, que neste caso foi de 0,02, e o valor da incerteza devido à histerese é dado por $U(\text{Hist}) = 0,02 \div \sqrt{6} = 0,0082$.

Para a **determinação da incerteza padrão combinada**, foi utilizada a Equação (4) com os valores das incertezas do manômetro calculados anteriormente.

$$\text{Ex.: } U_c = \sqrt{0,0033^2 + 0,0335^2 + 0,2042^2 + 0,0082^2} = 0,0402$$

A Tabela 3 apresenta os resultados dos cálculos da incerteza combinada.

TABELA 3. Resultados obtidos para determinação da incerteza padrão combinada (manômetro)

Símbolo	Grandezas encontradas	Estimativa	Tipo	Distrib.	Divisor	Ui	Ui ²	$\sum Ui^2$	$\sqrt{\sum Ui^2} = U_c$
Ua (Δi)	Repetitividade	0,0033	A	Normal	1	0,0033	0,0000	0,0016	0,0402
Ub (Up)	Incerteza herdada	0,067	B	Normal	2	0,0335	0,00112		
Ub (Ri)	Resolução do instrumento	0,1 ÷ 2	B	Triang. $\sqrt{6}$	2,449	0,0204	0,00042		
Ub (Hist)	Histerese	0,02	B	Triang. $\sqrt{6}$	2,449	0,0082	0,00007		

Onde: U_i = Valores encontrados das incertezas padrão das grandezas de entrada.

A incerteza expandida U é obtida pela multiplicação da incerteza padrão combinada U_c por um fator k .

$$U = k \cdot U_c \quad (6)$$

Onde k é o fator para um nível de confiança ($k=2$ para 95%). Ex.: $U = 2 \cdot 0,0402 = 0,08$

Dessa forma, a leitura do instrumento será dada pela leitura na escala do instrumento $\pm 0,08 \text{ kgf/cm}^2$

CONCLUSÃO

Este trabalho proporcionou um maior controle de medição de pressão através do conhecimento da incerteza dos equipamentos, a redução de custos operacionais na manutenção do sistema metrológico do laboratório, padronização do sistema de calibração através da elaboração de uma norma interna e a emissão de certificados garantindo a calibração dos equipamentos

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/ PIBIC, ao Centro de Tecnologia da UNICAMP e ao Grupo de Engenharia e Pós-Colheita (GEPC) pela realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMATIZAÇÃO E QUALIDADE INDÚSTRIAL. **Orientação para a realização de calibração de medidores analógicos de pressão, DOQ-CGCRE-017.** Documento de caráter orientativo. São Paulo: INMETRO, 2006.
- [2] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMATIZAÇÃO E QUALIDADE INDÚSTRIAL. **Guia para a Expressão da Incerteza de Medição.** Terceira edição brasileira em língua portuguesa. Rio de Janeiro: ABNT, INMETRO, 2003.
- [3] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMATIZAÇÃO E QUALIDADE INDÚSTRIAL. **Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia:** Portaria inmetro Nº 29 DE 1995/ INMETRO, SENAI – Departamento Nacional. 5. ed. – Rio de Janeiro: Ed. SENAI, 2007.
- [4] LINK, W. **Metrologia Mecânica – Expressão da Incerteza de Medição.** São Paulo Programa: RH metrologia. 1997.
- [5] MENDES, A. ROSÁRIO, P. P., **Metrologia e Incerteza de Medição.** São Paulo: EPSE, 2005.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Manômetro com sensor de elemento elástico – Recomendações de fabricação e uso.** NBR 14105. São Paulo: ABNT, 1998.