



COMPARAÇÃO DE PRESSÃO ABSOLUTA NO INTERVALO DE MEDIÇÃO DE 500 hPa A 1100 hPa.

*Jackson da Silva Oliveira*¹, *Paulo Roberto Guimarães Couto*², *Luiz Henrique Paraguassu de Oliveira*³, *Carlos da Silva Nunes*⁴, *Saulo de Carvalho França*⁵, *Fábio Rogério Riccomini*⁶, *Antonio Rafael Sito Antunes*⁷

¹ Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Confiabilidade Industrial, Rio de Janeiro, Brasil, jsoliveira@inmetro.gov.br

² Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Confiabilidade Industrial, Rio de Janeiro, Brasil, prcouto@inmetro.gov.br

³ Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Confiabilidade Industrial, Rio de Janeiro, Brasil, paraguassu@inmetro.gov.br

⁴ Infraero, Rio de Janeiro, Brasil, carlosdasilvanunes@gmail.com

⁵ Infraero, Rio de Janeiro, Brasil, saulocf001@yahoo.com.br

⁶ Druck Brasil Ltda./GE Sensing, São Paulo, Brasil, fabio.riccomini@ge.br

⁷ Presys Instrumentos e Sistemas Ltda, São Paulo, Brasil, rafael@presys.com.br

Resumo: Os programas de comparação interlaboratorial são elementos necessários e indispensáveis, utilizados para avaliar e monitorar a confiabilidade metrológica dos resultados produzidos pelos laboratórios. Este trabalho tem por objetivo apresentar o estudo da compatibilidade entre os resultados de medição produzidos pelos laboratórios de pressão do Inmetro, Druck Brasil Ltda./GE Sensing e Infraero, participantes da primeira comparação de pressão absoluta realizada no País, no intervalo de medição de 500 hPa a 1100 hPa, realizada entre dezembro de 2009 e dezembro de 2010, através da comparação direta entre a balança de pressão padrão de cada laboratório operando em modo absoluto e o padrão de transferência. O padrão de transferência enviado aos laboratórios para a realização das medições foi um barômetro Paroscientific, modelo 745. O Laboratório Piloto foi o Laboratório de Pressão do Inmetro, Lapre, que realizou durante a comparação três calibrações (duas iniciais e uma final) no padrão de transferência. Os resultados de medição obtidos pelos laboratórios participantes foram considerados compatíveis dentro de 0,044 hPa, o que equivale a metade do erro referente à exatidão do padrão de transferência.

Palavras chave: comparação, pressão absoluta, comparabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O Lapre realiza atividades de pesquisa e prestação de serviços de calibração de medidores de pressão em diversos intervalos de medição da grandeza utilizando como padrões de referência balanças de pressão, particularmente na faixa de 1,4 kPa até 7 MPa são utilizadas balanças de pressão do fabricante Ruska. Atualmente o Inmetro possui um sistema Ruska de pressão absoluta modelo 2465, composto por três conjuntos pistão-cilindro de referência.

As balanças de pressão, como todos os outros padrões de referência devem ser submetidas a intercomparações laboratoriais, preferencialmente internacionais de modo frequente, principalmente pela necessidade de atendimento dos requisitos da norma ABNT ISO/IEC 17025: 2005,

porém existem dificuldades operacionais para a frequente realização de intercomparações internacionais.

O Lapre, atuando como laboratório do instituto nacional de metrologia do Brasil, vislumbrou a existência de um grupo de laboratórios no país que possuem padrões equivalentes de medição de pressão absoluta na faixa de 500 hPa a 1100 hPa e organizou um programa de comparação interlaboratorial entre os membros deste grupo.

Tendo o Lapre como Piloto da comparação, os laboratórios que aderiram ao programa de intercomparação laboratorial de pressão absoluta são:

- laboratório de pressão, Lapre, Inmetro;
- Laboratório PRYMELAB, Presys Instrumentos e Sistemas Ltda;
- Laboratório de pressão da Infraero;
- Laboratório de pressão da General Eletric do Brasil.

Todos os laboratórios participantes possuem balanças de pressão RUSKA do modelo 2465. Os padrões dos laboratórios participantes estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Padrões dos laboratórios

Laboratório	Pistão-cilindro	Incerteza (ppm)
Lapre	TL1505	22
PRYMELAB	TL1373	56
INFRAERO	TL1537	15
GE	TL1661	20

O padrão de transferência utilizado foi um barômetro Paroscientific, modelo 745, número de série 114975, intervalo de indicações de 500 hPa a 1100 hPa. Este modelo apresenta uma exatidão de 0,008 % da amplitude do seu intervalo de medição.

A intercomparação foi realizada na sequência: Lapre, INFRAERO, PRYMELAB, GE e Lapre.

2. OBJETIVO

Este artigo tem por objetivo apresentar o estudo da comparação interlaboratorial de pressão absoluta realizada entre o Lapre, Laboratório PRYMELAB, Laboratório de pressão da Infraero e o Laboratório de pressão da General Eletric com o objetivo de verificar a compatibilidade entre resultados de medição destes laboratórios que apresentam padrões do mesmo modelo e medem pressão absoluta na faixa de 500 hPa a 1100 hPa.

3. METODOLOGIA

O método de medição utilizado nas calibrações do padrão de transferência foi a comparação direta. Cada um dos laboratórios realizou a calibração do padrão de transferência com a sua respectiva balança de pressão em dois ciclos de medição (carregamento/descarregamento) em 10 pontos nominais de medição: 500 hPa, 600 hPa, 700 hPa, 800 hPa, 850 hPa, 900hPa, 950 hPa, 1000 hPa, 1050 hPa e 1100 hPa.

Os cálculos de incerteza e a análise dos resultados foram realizados com base nas tabelas de erros obtidos nas calibrações pelos laboratórios.

Os valores dos erros obtidos geraram gráficos de erros objetivando a avaliação da qualidade das calibrações realizadas pelos laboratórios. Nesta avaliação foi adotada a tolerância equivalente a metade do erro referente à exatidão do instrumento.

Os métodos de cálculo para a verificação da compatibilidade dos resultados de medição foram o erro normalizado e Z-score. Os valores de En e Z-score são definidos pelas equações 1 e 2, respectivamente:

$$E_n = \frac{|\bar{X} - \bar{Y}|}{\sqrt{U_x^2 + U_y^2}} \quad (1)$$

Onde:

\bar{X} = Erro médio do laboratório

\bar{Y} = média dos erros das calibrações realizadas pelo laboratório de referência

U_x e U_y = incertezas expandidas de cada resultado.

$$Z = \frac{|\bar{X} - \bar{Y}|}{s} \quad (2)$$

Onde:

s = desvio padrão de todos os erros pontuais da calibração

4. RESULTADOS

A tabela 1 apresenta os erros médios, erros máximos e incertezas encontrados pelo laboratório de referência para os pontos nominais da calibração do padrão itinerante.

As tabelas 2, 3 e 4 apresentam os erros médios, erros máximos e incertezas encontrados pelos laboratórios participantes. Estas tabelas também apresentam os resultados dos Erros normalizados e Z-score ambos calculados para o erro médio e para o erro máximo nos pontos nominais da calibração do padrão itinerante.

Tabela 1. Médias de erros e incertezas obtidas pelo laboratório de referência

Pressão Nominal	Erro médio	Erro máximo	Incerteza expandida
(hPa)	(hPa)	(hPa)	(hPa)
500	0,037	0,0622	0,058
600	0,019	0,0436	0,064
700	0,001	0,0225	0,072
800	-0,002	0,0203	0,081
850	-0,016	0,0404	0,086
900	-0,024	0,0461	0,091
950	-0,024	0,046	0,096
1000	-0,034	0,0562	0,101
1050	-0,037	0,0609	0,106
1100	-0,034	0,0525	0,111

Tabela 2. Médias de erros e incertezas obtidas pelo laboratório da Infraero

Pressão Nominal	Incerteza expandida	pelo Erro Médio			pelo Erro Máximo		
		Erro Médio	En	Z	Erro Máximo	En	Z
(hPa)	(hPa)	(hPa)			(hPa)		
500	0,049	-0,015	0,70	1,60	0,058	0,06	0,13
600	0,059	-0,022	0,46	1,46	0,041	0,03	0,09
700	0,069	-0,029	0,29	1,31	0,022	0,01	0,02
800	0,078	-0,028	0,23	1,11	0,021	0,01	0,03
850	0,083	-0,036	0,16	1,04	0,011	0,25	1,54
900	0,088	-0,036	0,09	0,66	0,008	0,30	2,18
950	0,093	-0,034	0,07	0,48	0,011	0,26	1,84
1000	0,098	-0,039	0,03	0,26	0,011	0,32	2,51
1050	0,103	-0,039	0,02	0,12	0,019	0,28	2,19
1100	0,108	-0,035	0,00	0,03	0,017	0,23	1,83

Tabela 3. Médias de erros e incertezas obtidas pelo laboratório Prymelab

Pressão Nominal	Incerteza expandida	pelo Erro Médio			pelo Erro Máximo		
		Erro Médio	En	Z	Erro Máximo	En	Z
(hPa)	(hPa)	(hPa)			(hPa)		
500	0,049	-0,025	0,82	1,87	0,025	0,49	1,12
600	0,059	-0,030	0,56	1,78	0,036	0,09	0,28
700	0,069	-0,032	0,33	1,48	0,041	0,19	0,83
800	0,079	-0,045	0,38	1,86	0,056	0,32	1,55
850	0,084	-0,043	0,23	1,43	0,052	0,10	0,61
900	0,088	-0,045	0,17	1,20	0,054	0,06	0,45
950	0,093	-0,049	0,18	1,28	0,057	0,08	0,58
1000	0,098	-0,049	0,10	0,81	0,059	0,02	0,16
1050	0,104	-0,056	0,13	0,98	0,07	0,06	0,48
1100	0,109	-0,062	0,18	1,43	0,073	0,13	1,06

Tabela 4. Médias de erros e incertezas obtidas pelo laboratório da GE

Pressão Nominal (hPa)	Incerteza expandida (hPa)	pelo Erro Médio			pelo Erro Máximo		
		Erro Médio (hPa)	En	Z	Erro Máximo (hPa)	En	Z
500	0,050	-0,012	0,65	1,48	0,019	0,57	1,31
600	0,059	-0,020	0,45	1,41	0,033	0,13	0,40
700	0,068	-0,032	0,33	1,46	0,034	0,11	0,51
800	0,078	-0,022	0,18	0,87	0,026	0,05	0,23
850	0,083	-0,032	0,13	0,82	0,034	0,05	0,33
900	0,088	-0,033	0,07	0,52	0,037	0,07	0,54
950	0,093	-0,032	0,06	0,41	0,035	0,08	0,56
1000	0,098	-0,029	0,04	0,30	0,032	0,17	1,32
1050	0,103	-0,029	0,05	0,42	0,032	0,20	1,51
1100	0,108	-0,029	0,03	0,25	0,030	0,14	1,15

O gráfico 1 apresenta o comportamento dos erros médios em função da pressão para todos os laboratórios com um intervalo de tolerância equivalente a metade do erro referente à exatidão do padrão itinerante .

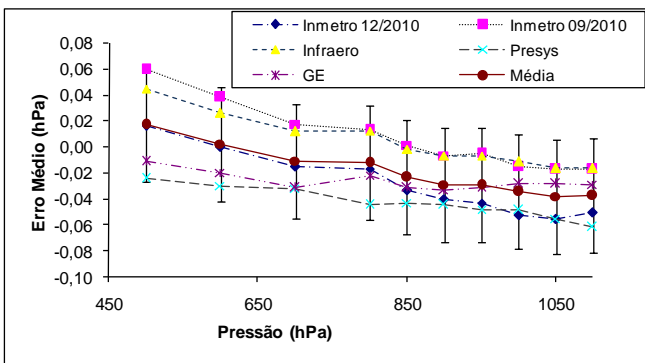


Fig. 1. Erros Médios em função da Pressão

5. DISCUSSÃO

Conforme a análise dos erros normalizados apresentados pelos laboratórios nas tabelas 2, 3 e 4 os valores dos erros normalizados calculados foram todos menores que 1, tanto na análise utilizando o erro médio obtido pelo laboratório quanto na utilização do erro máximo.

A análise feita pelo método Z-score nas tabelas 2, 3 e 4 apresentou resultados menores que 2 com exceção de três pontos de calibração do Laboratório da Infraero cujos resultados obtidos ficaram entre 2 e 3. Esses dois pontos admitidos como duvidosos não ficam inválidos, visto que sua compatibilidade já foi confirmada pelo método do erro normalizado.

As Incertezas de medição expandidas apresentadas nas tabelas 1, 2, 3 e 4 se apresentam dentro da mesma ordem de grandeza.

O gráfico 1 mostra que todos laboratórios retrataram a lei de erros do padrão de transferência e que média dos erros obtidos por cada um dos laboratórios, metodologia para a

verificação da qualidade das calibrações, evidencia que os resultados estão contidos no intervalo de $\pm 0,044$ hPa, o que representa a metade do erro referente à exatidão do padrão de transferência conforme informação do seu manual.

6. CONCLUSÕES

Todos os laboratórios retrataram a lei de erros do padrão de transferência e a compatibilidade entre os erros médios das medições realizadas pelos laboratórios na comparação estão compatíveis dentro $\pm 0,044$ hPa valor que representa a metade do erro referente à exatidão do padrão de transferência.

Na análise da compatibilidade dos resultados da comparação utilizando o Z score conclui-se que a maioria dos resultados são confiáveis visto que os valores de Z score são menores do que 2. Três pontos nominais de pressão dos resultados da Infraero são duvidosos porque os valores de Z score estão entre 2 e 3.

As incertezas obtidas pelos laboratórios são consideradas compatíveis, visto que para cada um dos pontos de medição os valores apresentaram a mesma ordem de grandeza para todos os laboratórios.

Observando-se os valores de En para a análise da compatibilidade dos resultados conclui-se que os mesmos são compatíveis porque todos os valores de En são menores do que 1.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à colaboração do Técnico Walmir Sérgio da Silva pela realização das medições no Inmetro e à Infraero pelo fornecimento do padrão de transferência utilizado na intercomparação.

Agradecemos também a todos os laboratórios participantes pela celeridade no processo de realização das medições, o que contribuiu para o sucesso da Intercomparação laboratorial.

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] Versão Brasileira do Documento de Referência EA-4/02 - Expressão da Incerteza de Medição na Calibração, INMETRO, ABNT e SBM, Rio de Janeiro, 1999.
- [3] Cinneli, L. R., Couto, P. R. G., Paraguassu, L. H., Soares, R. S. “Estudo de Padrões e Estabelecimento da Melhor Capacidade de Medição do Lapre/Inmetro na Faixa de 1,4 kPa a 7 MPa”- I CIMMEC - Rio de Janeiro - 2008.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas- Guia para a Expressão da Incerteza de Medição. ISO GUM 95. Terceira Edição Brasileira Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Rio de Janeiro :ABNT , INMETRO. Edição Revisada. Agosto de 2003.120p.- Rio de Janeiro - 2008.
- [5] ABNT ISO/IEC GUIA 43-1 Anexo A