

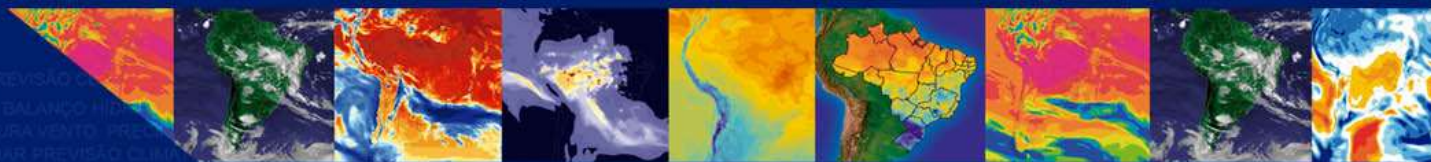
A calibração e a confiabilidade das medidas da instrumentação meteorológica utilizada na rede GNSS-SP



III Workshop do Projeto Temático GNSS-SP

*Márcio A. A. Santana / Luiz F. Sapucci / João F. G. Monico /
Patrícia L. O. Guimarães / Cristiano C. Silva / Luiz Fernando Silva /
Clemerson G. Lopes / Antonio C. Barbosa Junho/2013*

**Ciência e
Tecnologia
a serviço
da sociedade**



*“A **Metrologia** é uma Ciência obrigatória, hoje, para qualquer área do conhecimento humano” e a calibração da instrumentação é ferramenta fundamental para assegurar a confiabilidade das medidas obtidas por Sistemas de Observação Ambiental .*



Receptor GNSS/GPS Trimble Net R5 e PTU Vaisala.

Este trabalho apresenta as etapas de avaliação do sistema de calibração, procedimento de calibração, as recalibrações e o acompanhamento dos termobarohigrômetros (PTUs) utilizados na rede de monitoramento deste projeto.

“Good data are not necessarily excellent, but it is essential that their quality is know and demonstrable.”

WMO – World Meteorological Organization

Características do termobarohigrômetro PTU303

Dispositivo	Especificação Técnica
Termômetro (sensor Pt100 RTD 1/3 Class B IEC 751)	Faixa de trabalho= - 40 a +60 °C. Precisão = +/- 0,2 a 0,4 °C.
Higrômetro (sensor capacitivo)	Precisão = $\pm (1,5 + 0,015 \times \text{leitura}) \% \text{ u.r.}$
Barômetro (membrana Capacitiva, classe A)	Faixa de trabalho = 500 a 1100 hPa; Precisão = +/- 0,15 hPa, Sendo: $\pm 0,05 \text{ hPa}$ (linearidade); $\pm 0,03 \text{ hPa}$ (histerese); $\pm 0,03 \text{ hPa}$ (repetibilidade); $\pm 0,07 \text{ hPa}$ (incerteza da calibração); $\pm 0,1 \text{ hPa}$ (variação da temperatura) e $\pm 0,1 \text{ hPa/ano}$ (estabilidade a longo prazo).



Estações de monitoramento (GNSS e PTU) de Araçatuba-SP e Cananéia-SP (PTU303 com "static pressure head")



Segundo a OMM, recomenda-se que as instalações necessárias para a realização das **atividades de instrumentação e calibração** devam ser previstas antes da aquisição e instalação das estações meteorológicas/ambientais, a fim de poder verificar as especificações fornecidas pelos fabricantes e testar o desempenho de toda a estação, assim como verificar se as características de medição dos equipamentos não são afetadas no transporte.

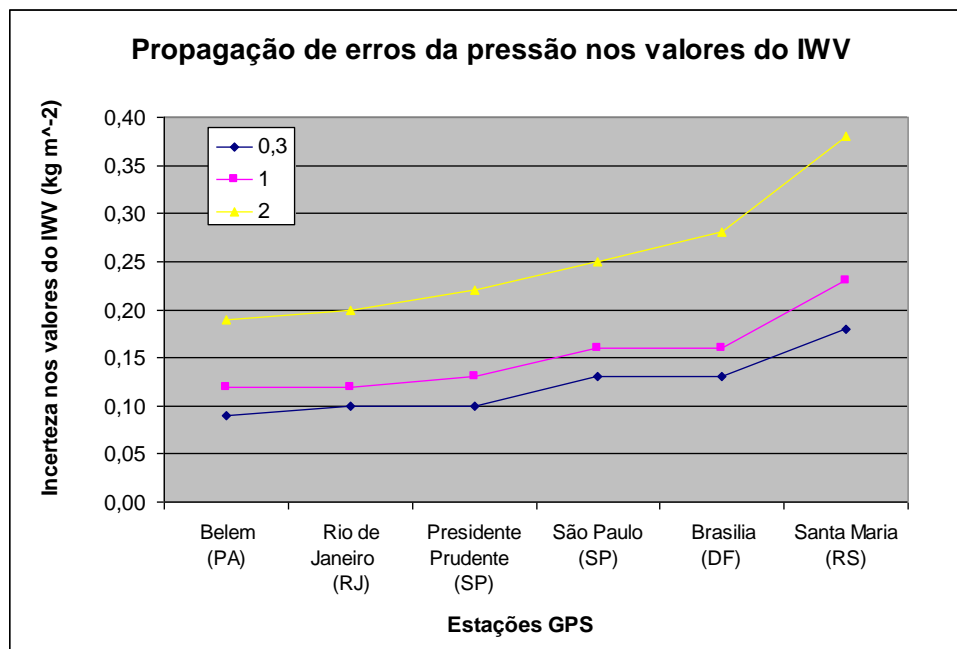
Rastreabilidade Metrologica (*metrological traceability*) é a propriedade dum resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através duma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição. [VIM 2012 – 2.41]

Diagrama de Rastreabilidade Metrológica aplicada na Instrumentação Meteorológica/Ambiental.

No Brasil, é muito comum a confusão entre os termos *ajuste*, *verificação* e *calibração* (o termo “*aferição*” é inadequado e caiu em desuso).

Calibração (calibration) é a operação que estabelece, sob condições especificadas uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas; e numa segunda etapa utiliza esta informação para estabelecer uma relação visando a obtenção dum resultado de medição a partir duma indicação. A calibração deve ser realizada utilizando-se de métodos e procedimentos devidamente avaliados e validados [VIM 2012, 2.39] .

No caso da técnica utilizada para obtenção do vapor d’água atmosférico nesta pesquisa ambiental, a variável pressão atmosférica é a principal fonte de contribuição para a incerteza do IWV - Integrated Water Vapour.



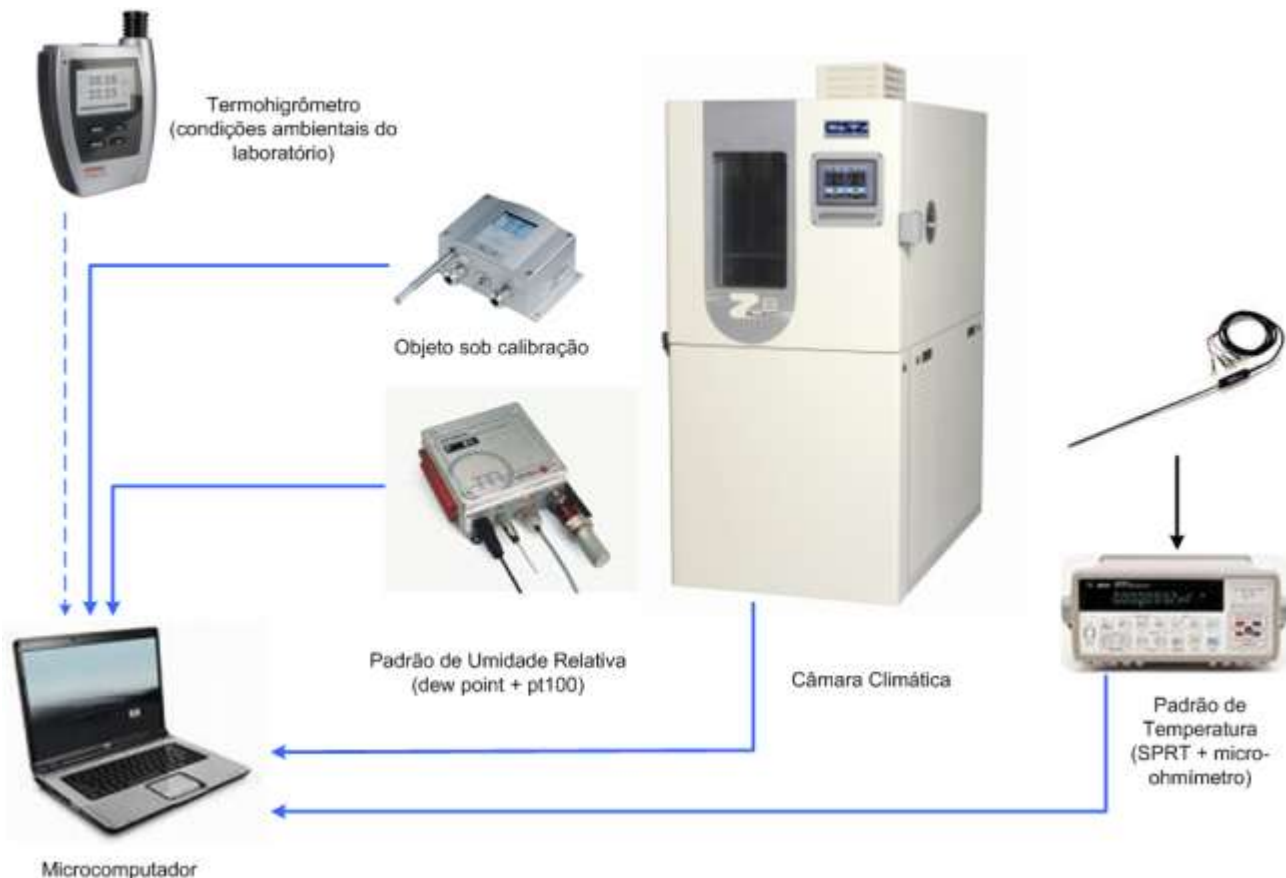
“**Critérios de aceitação**” para o barômetro e determinação da incerteza para o IWV

Procedimento de Calibração

O procedimento de calibração baseia-se na comparação direta aos padrões de referência de temperatura (Escala Internacional de Temperatura de 1990) e umidade relativa do ar do NPE/CPTEC, utilizando-se uma câmara climática como meio de calibração.

São realizadas séries de 15 (quinze) medidas a cada 30 (trinta) segundos para cada ponto de calibração, sendo informado o valor médio.

A incerteza, expandida de medição (incerteza da calibração) relatada equivale à incerteza padrão combinada multiplicada pelo fator de abrangência "k", para um nível de confiança de 95,45%, e é estimada de acordo com os documentos EA-4/02 e *ISO/GUM - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*.



Sistema de calibração de temperatura e umidade relativa do ar do INPE/CPTEC



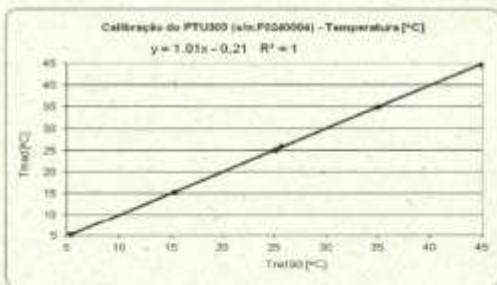
CARACTERÍSTICAS DO OBJETO SOB CALIBRAÇÃO

Sensor de temperatura: Pt 100 RTD 1/3 Class B IEC 751; Faixa de trabalho de -40 a 90 °C.

RESULTADO DA CALIBRAÇÃO DE TEMPERATURA

Ponto (Valor Nominal)	Temperatura de Referência T _{ref} [°C]	Temperatura Individa T _{indiv} [°C]	Correção T _{med} - T _{ref} [°C]	Incerteza expandida de medição U [°C]	Fator de Abrangência k
05 °C - 90 % ur	5,32	5,19	0,13	±0,28	2,0
15 °C - 75 % ur	15,33	15,17	0,16	±0,28	2,0
25 °C - 20 % ur	25,69	25,84	-0,15	±0,23	2,0
25 °C - 50 % ur	25,18	25,13	0,05	±0,23	2,0
25 °C - 80 % ur	25,08	24,96	0,12	±0,23	2,0
30 °C - 90 % ur	30,02	29,99	0,03	±0,20	2,0
45 °C - 80 % ur	44,84	44,79	0,05	±0,23	2,0

* A incerteza expandida de medição, U, declarada neste Certificado não leva em consideração a incerteza relativa à equação de ajuste apresentada no gráfico.



Obs.: O presente certificado de calibração é válido apenas para o equipamento caracterizado na primeira página deste, não sendo extensivo a quaisquer outros equipamentos do tipo, ainda que similares. Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido na sua totalidade, eventuais reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo LIIH. Recomendamos a verificação e recalibração periódicas deste equipamento.

$y = 1,03x - 0,21 \pm 0,28 \pm 0,28 \pm 0,28 \pm 0,28 \pm 0,28 \pm 0,28 \pm 0,28 \pm 0,28 \pm 0,28 \pm 0,28$



CARACTERÍSTICAS DO OBJETO SOB CALIBRAÇÃO

Sensor de umidade: - Faixa de trabalho de 0 a 100% ur.

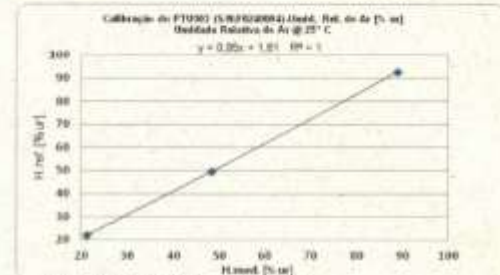
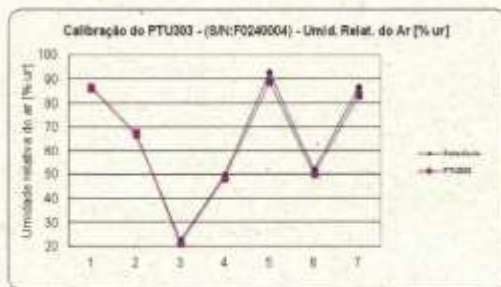
RESULTADO DA CALIBRAÇÃO DE UMIDADE RELATIVA DO AR

Ponto (Valor Nominal)	Umidade de Referência H _{ref} [% ur]	Umidade Medida H _{med} [% ur]	Correção H _{med} - H _{ref} [% ur]	Incerteza expandida de medição U [% ur]	Fator de Abrangência k
5 °C - 90 % ur	86,5	86,2	0,3	±2,3	2,0
15 °C - 75 % ur	86,8	87,1	-0,3	±2,2	2,0
25 °C - 20 % ur	22,2	21,3	0,9	±2,5	2,0
25 °C - 50 % ur	49,7	48,5	1,2	±2,3	2,0
25 °C - 80 % ur	51,7	49,9	1,8	±2,3	2,0
35 °C - 90 % ur	51,7	50,0	1,7	±2,1	2,0
45 °C - 80 % ur	86,5	83,2	3,3	±2,2	2,0

* Para a conversão de temperatura de ponto orvalho para umidade relativa do ar utiliza-se a equação (1), descrita no Guia to Metrological Instruments and Methods of Observation, CIMO Guide, IAPSO, 2008.

$$e_s = 6,112 \exp\left(\frac{17,62}{T} - \frac{34,89}{T+273,15}\right) \quad (1)$$

onde: T, temperatura em °C e e_s, pressão de saturação do vapor de água em hPa.



*Equação obtida através da planilha eletrônica Excel.

Obs.: O presente certificado de calibração é válido apenas para o equipamento caracterizado na primeira página deste, não sendo extensivo a quaisquer outros equipamentos do tipo, ainda que similares. Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido na sua totalidade, eventuais reproduções parciais devem ser previamente autorizadas pelo LIIH. Recomendamos a verificação e recalibração periódicas deste equipamento.

$y = 0,95x + 1,81 \pm 2,3 \pm 2,3 \pm 2,3 \pm 2,3 \pm 2,3 \pm 2,3 \pm 2,3 \pm 2,3 \pm 2,3 \pm 2,3$

Disseminação da variável pressão atmosférica

Laboratory individual measurements:

CCM.P-K6, APMP.M.P-K6 and APMP.M.P-K6.1

• Key comparison CCM.P-K6

MEASURAND : Effective area of a piston-cylinder assembly

NOMINAL VALUE : 335,7 mm²

NOMINAL PRESSURE : p = 100 kPa

x_i : result obtained from the mean of measurements by laboratory i

u_i : combined standard uncertainty of x_i

Lab i	x _i / mm ²	u _i / x _i / 10 ⁻⁶	Date of measurement
VSL	335,745 0	16	Aug-Sep 1998
METAS	335,730 4	24	Nov-Dec 1998
PTB	335,745 3	3,8	Feb-Mar 1999
NIST	335,742 9	3,0	Sep-Oct 1999
NIM	335,745 7	4,1	Nov-Dec 1999
NPL	335,744 5	1,8	Aug-Sep 2000
NRC	335,743 1	2,7	Jul-Sep 2001



MASS / FLOG / 2011

x_R (key comparison reference value) = 335,744 5 mm²
 u_R (standard uncertainty of the key comparison reference value) = 0,000 9 mm²

Lab i	D _i / mm ²	u _i / mm ²
VSL	0.0005	0.011
METAS	-0.0142	0.016
PTB	0.0008	0.0032
NIST	-0.0016	0.0027
NIM	0.0012	0.0033
NPL	0.0000	0.0022
NRC	-0.0014	0.0026



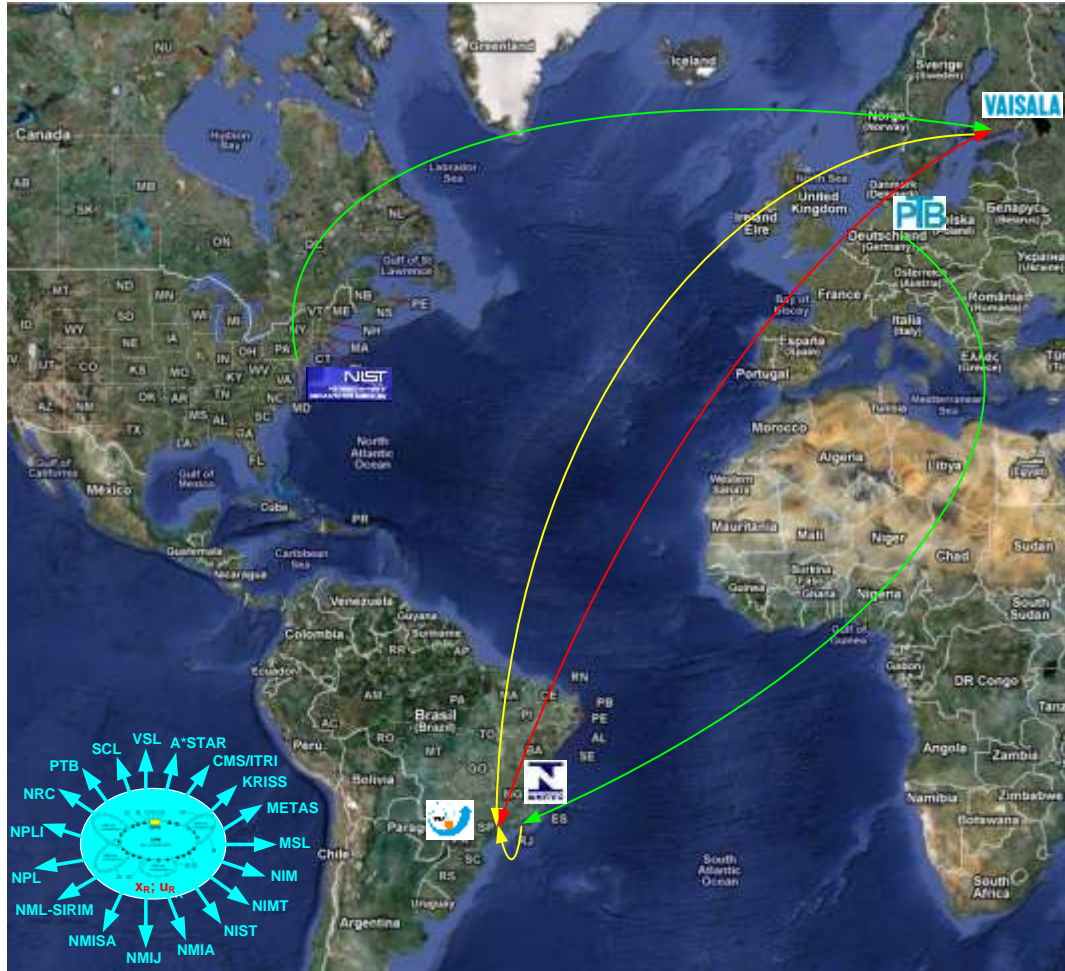
Padrão Nacional de Pressão (Lapre/Inmetro) e Sistema de calibração de pressão atmosférica do INPE/CPTEC/LIM

The BIPM Key comparison CCM.P-K6

Avaliação do procedimento de calibração através de comparação interlaboratorial:

Resultados compatíveis

Artigo: "GPS aplicado à quantificação do vapor d'água atmosférico: aplicação da Metrologia na determinação das incertezas da técnica" – Congresso Metrologia 2011.



Sistema de calibração de pressão utilizando câmara barométrica e gás nitrogênio (99,999% de pureza).

Disseminação do SI e rastreabilidade metrológica da grandeza pressão na pesquisa ambiental sobre o IWV

O **procedimento de calibração** baseia-se na comparação direta aos padrões de referência de pressão atmosférica do INPE/CPTEC, utilizando-se uma câmara barométrica como meio de calibração.

São realizados 2 (dois) ciclos de carregamento/descarregamento com gás nitrogênio 99,999 % de pureza, em séries de 15 medidas a cada minuto para cada ponto de calibração, sendo informado o valor médio.

A incerteza expandida de medição (incerteza da calibração) relatada equivale à incerteza padrão combinada multiplicada pelo fator de abrangência “k”, para um nível de confiança de 95,45%, e é estimada de acordo com os documentos EA-4/02 e ISO GUM - *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*.

$$P_x = \bar{p}_x' + (\bar{p}_s + \sum_{j=1}^3 \sigma p_{s_j} - \bar{p}_x + \sigma p_{x_1} + \sigma p_b + \sigma p_{\nabla} + \sigma p_g)$$

ps = pressão de referência [S = +/- (0,009 a 0,018)];

δps1 = correção de pressão obtida a partir da calibração do padrão [u = +/- 0,01 hPa];

δps2 = correção de pressão devido à resolução do padrão [u= +/- 0,01 hPa];

δps3 = deriva do padrão desde sua última calibração [u= +/- 0,012 hPa/ano];

px = pressão do objeto sob calibração [S= +/- (0,004 a 0,018)];

δpx1 = correção da pressão devido à resolução do objeto sob calibração [u= +/- 0,01 hPa];

δpb = correção da pressão devido à não-uniformidade da câmara barométrica (≅ 0);

δp∇ = gradiente espacial e temporal da câmara barométrica (≅ 0);

δpg = correção da pressão devido ao gás utilizado (≅ 0).

E_{ABS} = +/- 0,21 hPa
Calibração em 2010

Maior contribuição de incerteza: - Certificado de Calibração do padrão [u= +/- 0,04 a 0,08 hPa]

Certificado de Calibração

IDENTIFICAÇÃO: 070-12 SERIAMENTO: -

PÁGINA: 1 de 3

Identificação do Item Calibrado

Objeto: Transdutor de Pressão - Sensor de pressão atmosférica
Fabricante: Vaisala
Modelo: PTU303
Número de série: F0240007
Data da Calibração: 27/06/2012

Cliente:

Solicitante: INPE/CPTEC/(Luiz Fernando Sapucci)
Endereço: Rodovia Presidente Dutra, km 40 SP-RJ - Centro - Lacerdópolis Paulista - SP
 CEP: 12.630-000

Equipamentos Utilizados

Combined pressure, humidity and temperature transmitter, PTU303, Vaisala
 Número de série: F2040007
 Certificado: DINCI 2467/2011
 Validade: 2017-2012
 Rastreabilidade: INMETRO - LAPRE

Câmara Barométrica, LIM / BOC EDWARDS
 Número de série: 007/2006
 Patrimônio: INPS 030077

Procedimento de Calibração

O procedimento de calibração baseia-se na comparação direta aos padrões de referência de referência de pressão atmosférica do INPE/CPTEC, utilizando-se uma câmara barométrica como meio de calibração. Foram realizados séries de 15 (quinze) medições a cada 4 (quatro) segundos 3000s pelo software Puffy Terminal Application para cada ponto de calibração, sendo informado o valor médio.

A incerteza expandida de medição (incerteza de calibração) relatada equivale à incerteza padrão combinada multiplicada pelo fator de abrangência "k" de 2,00, para um nível de confiança de 95,45%, e foi determinada de acordo com o documento CA 492 e ISO/GUM - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements.

Condições Ambientais:
 Temperatura do ar: (23 ± 2) °C
 Umidade relativa do ar: (50 ± 10) %RH
 Pressão atmosférica local: (1045 ± 3) hPa
 Gás utilizado na calibração: Nitrogênio (99,999 % de pureza)

05/07/2012
Data de emissão

Márcio A. Sardans
Tecnologista
Metrologista

Osvaldo Luiz Mendes
Coordenador Geral
do CPTEC

Laboratório de Metrologia Ambiental
 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
 Caixa Postal 515, s/n - São José dos Campos - SP - 13.872-970
 Telefone: (11) 5076-9111

Certificado de Calibração

IDENTIFICAÇÃO: 070-12 SERIAMENTO: -

PÁGINA: 2 de 3

CARACTERÍSTICA DO OBJETO SOB CALIBRAÇÃO

- Faixa de pressão: 500 a 1100 hPa.

RESULTADO DA CALIBRAÇÃO (MÉDIA DO CARREGAMENTO E DESCARREGAMENTO - 1ª E 2ª CICLOS)

PRIMEIRO CICLO DE MEDIÇÃO

Pressão de Referência P _{ref} [hPa]	Pressão Indicada P _{ind} [hPa]	Ponto
700,40	700,21	1
800,89	799,94	2
880,95	880,00	3
900,71	900,00	4
1000,20	1000,24	5
1050,11	1050,04	6

SEGUNDO CICLO DE MEDIÇÃO

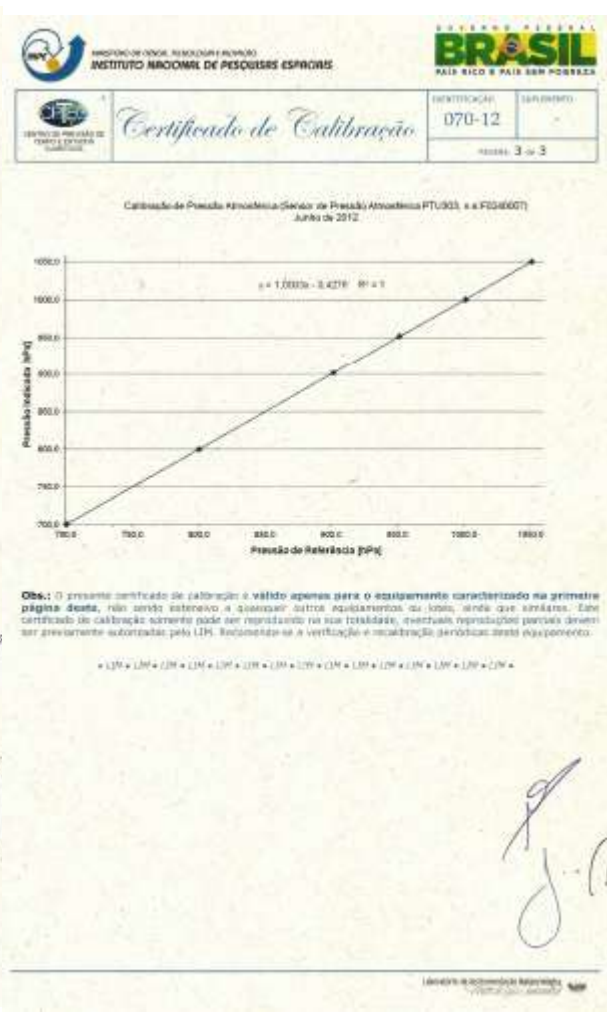
Pressão de Referência P _{ref} [hPa]	Pressão Indicada P _{ind} [hPa]	Ponto
700,83	700,83	1
799,95	799,80	2
880,88	880,88	3
902,25	902,16	4
1001,38	1001,32	5
1050,94	1050,87	6

TABELA RESUMIDA (VALORES MÉDIOS)

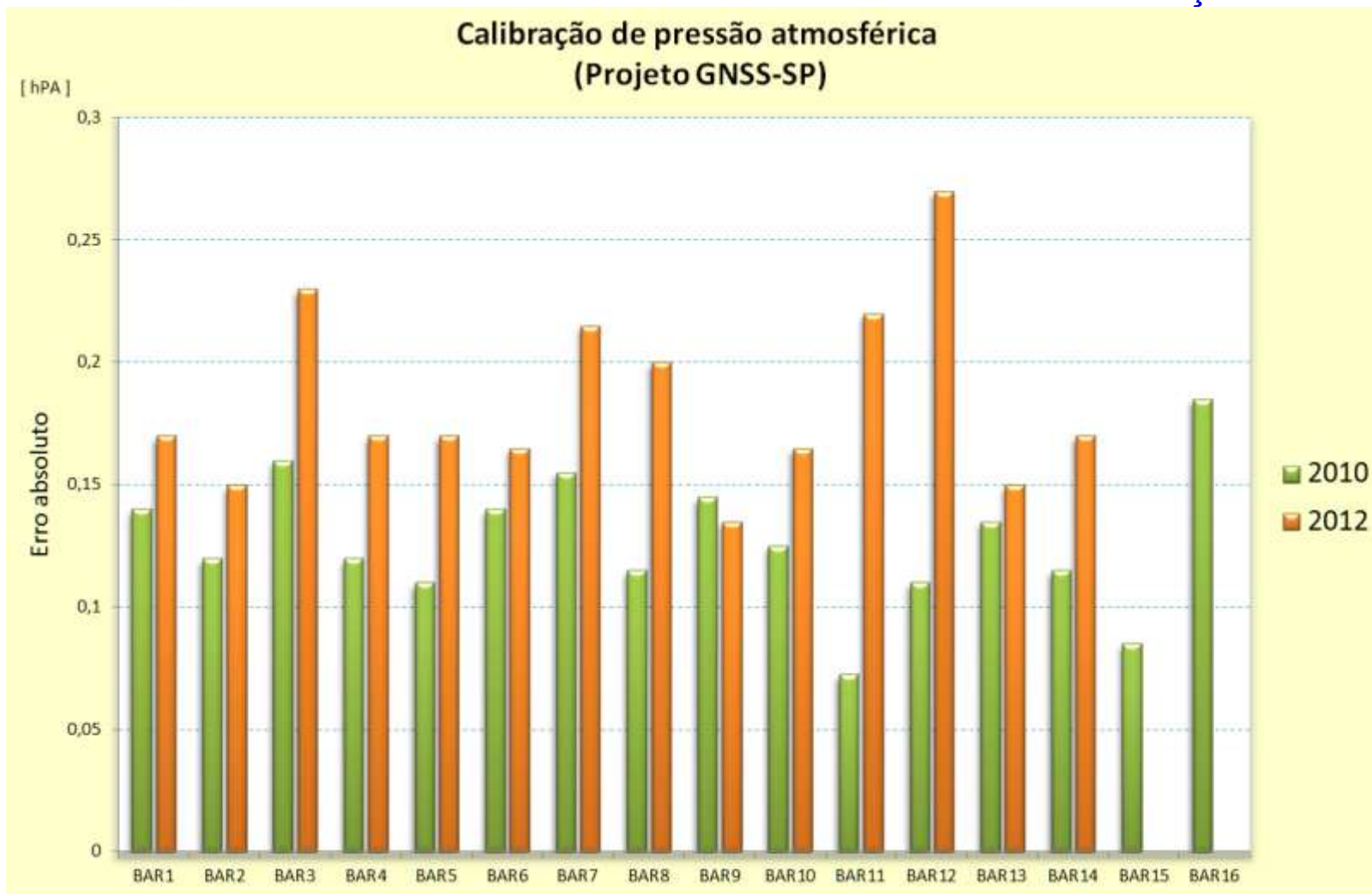
Ponto	Pressão de Referência P _{ref} [hPa]	Pressão Indicada P _{ind} [hPa]	Correção P _{ref} - P _{ind} [hPa]	Incerteza de Calibração** U _c [hPa]
1	700,61	700,42	0,19	± 0,08
2	800,92	799,67	0,17	± 0,08
3	891,41	891,29	0,12	± 0,09
4	901,48	901,38	0,10	± 0,09
5	1000,86	1000,77	0,09	± 0,09
6	1050,52	1050,46	0,06	± 0,09

* > valor de U (carregamento e descarregamento)
 ** A incerteza expandida de medição U_c declarada neste Certificado não leva em consideração as incertezas relativas à equação de ajuste apresentada no gráfico.

Laboratório de Metrologia Ambiental
 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
 Caixa Postal 515, s/n - São José dos Campos - SP - 13.872-970
 Telefone: (11) 5076-9111



Certificados de Calibração de pressão atmosférica



Acompanhamento dos barômetros utilizados na rede do projeto GNSS-SP

Algumas considerações ...

A participação da Metrologia neste projeto de pesquisa ambiental proporcionou:

- a visualização da rastreabilidade e da disseminação da grandeza pressão atmosférica em uma aplicação de monitoramento ambiental;
- a verificação da compatibilidade dos resultados das calibrações realizadas na Finlândia (Vaisala) e no Brasil (INPE/CPTEC) através dos dados dos Certificados de Calibração dos barômetros;
- a análise do sistema de calibração de barômetros que utiliza um padrão similar (1:1) em relação ao objeto sob calibração e a comprovação que este sistema pode ser utilizado para o acompanhamento (verificações e calibrações) destes sensores de campo durante o período desta pesquisa;
- a calibração dos termobarohigrômetros do projeto SIPEG (INPE/DGE/GEOMA) replicando esta metodologia;
- a determinação da incerteza de medição ($\pm 0,3$ hPa) da técnica de monitoramento do IWV (*Integrated Water Vapor*) utilizando-se sensores meteorológicos e correlação com os valores de IWV obtidos indiretamente através de GNSS e
- a interação multidisciplinar entre instrumentistas, metrologistas, meteorologistas, e multi-institucional.

Conclui-se que a metodologia utilizada para a comprovação metrológica nesta aplicação torna esta rede de monitoramento uma **referência com dados de elevado nível de confiabilidade** e pode servir de modelo para outros projetos de pesquisa ambiental no País, garantindo-se assim a confiabilidade das informações obtidas através do monitoramento das diversas variáveis meteorológicas, sendo que as recalibrações e acompanhamento podem ser em breve estendidas para os receptores GNSS.



Sistema **proposto** para a calibração de receptores GNSS utilizando GNSS simulator.

Os autores agradecem também às equipes do LAPRE/INMETRO e LIM/CPTEC, aos pesquisadores da UNESP, USP e INPE/CPTEC. À FAPESP pelo apoio financeiro na implantação da rede (processo No. 2006/04008-2), ao MCT, FINEP, INPE e INMETRO pelo incentivo na implantação da área de Metrologia Ambiental e à CAPES pela disponibilização das normas técnicas.

Obrigado!

***“Good data are not necessarily excellent,
but it is essential that their quality is know and demonstrable”***

WMO – World Meteorological Instrumentation

e-mail: marcio.santana@cptec.inpe.br