



Centro de Previsão de  
Tempo e Estudos Climáticos

CPTEC / INPE

www.cptec.inpe.br

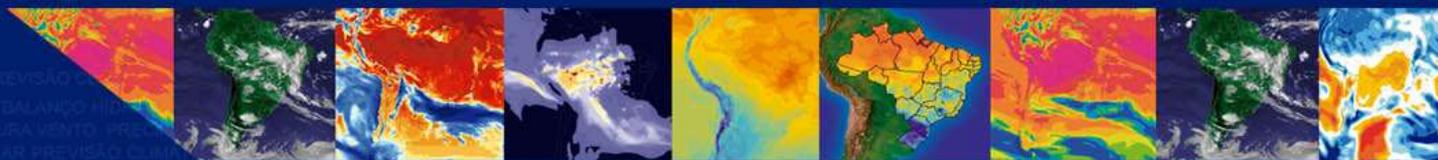
# A calibração e a confiabilidade das medidas da instrumentação meteorológica utilizada na rede GNSS-SP



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**

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

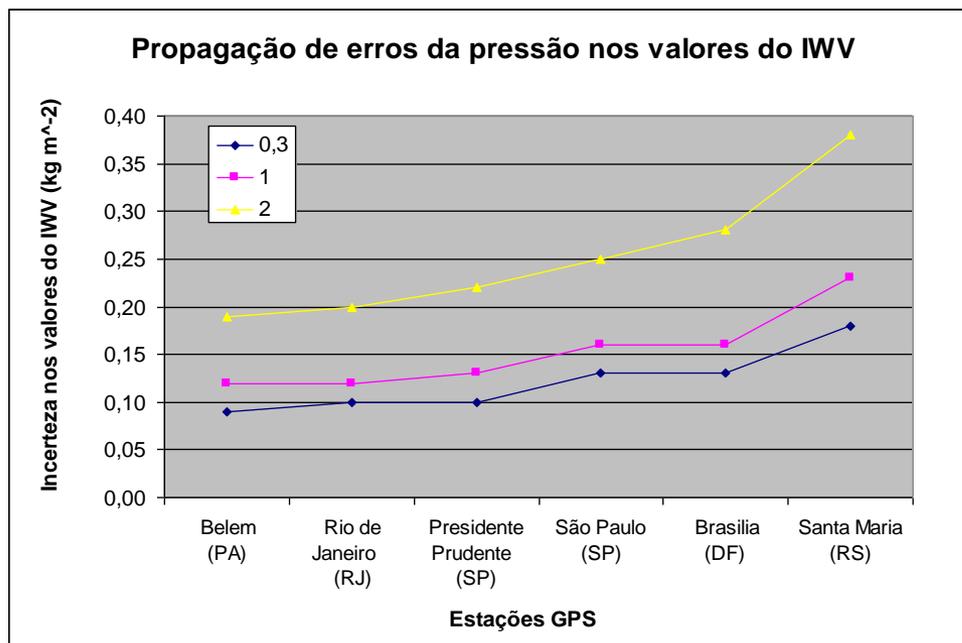
**Rastreabilidade Metrologica** (*metrological traceability*) é a propriedade dum resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através duma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição. [VIM 2012 – 2.41]

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.



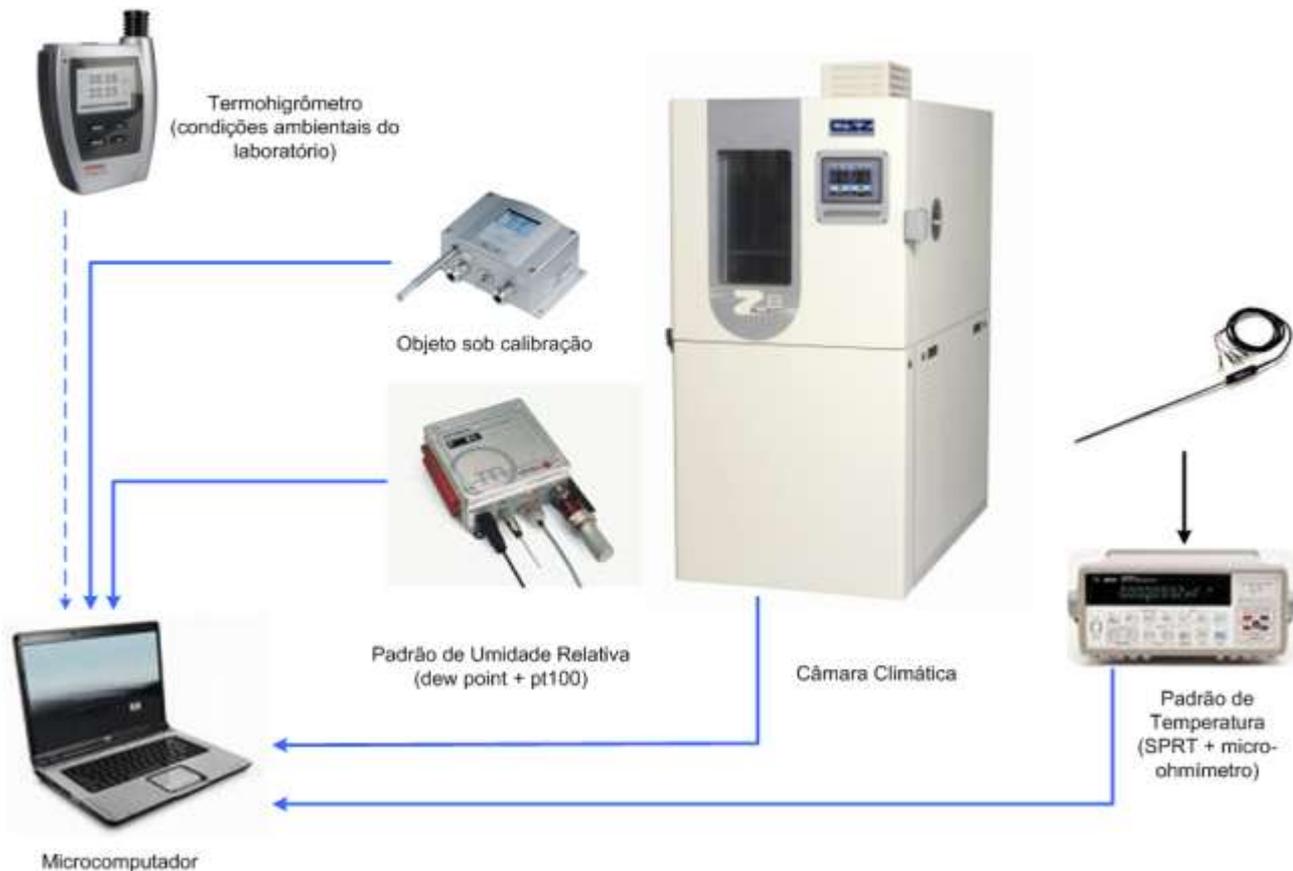
“Critérios de aceitação” para o barômetro e determinação da incerteza para o IWV

### 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



### 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 mm<sup>2</sup>

NOMINAL PRESSURE : p = 100 kPa

x<sub>i</sub> : result obtained from the mean of measurements by laboratory i

u<sub>i</sub> : combined standard uncertainty of x<sub>i</sub>

| Lab i | x <sub>i</sub><br>/ mm <sup>2</sup> | u <sub>i</sub> / x <sub>i</sub><br>/ 10 <sup>-6</sup> | 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 / PLOG / 2011

x<sub>R</sub> (key comparison reference value) = 335,744 5 mm<sup>2</sup>  
 u<sub>R</sub> (standard uncertainty of the key comparison reference value) = 0,000 9 mm<sup>2</sup>

| Lab i | D <sub>i</sub><br>/ mm <sup>2</sup> | u <sub>i</sub><br>/ mm <sup>2</sup> |
|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 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                              |



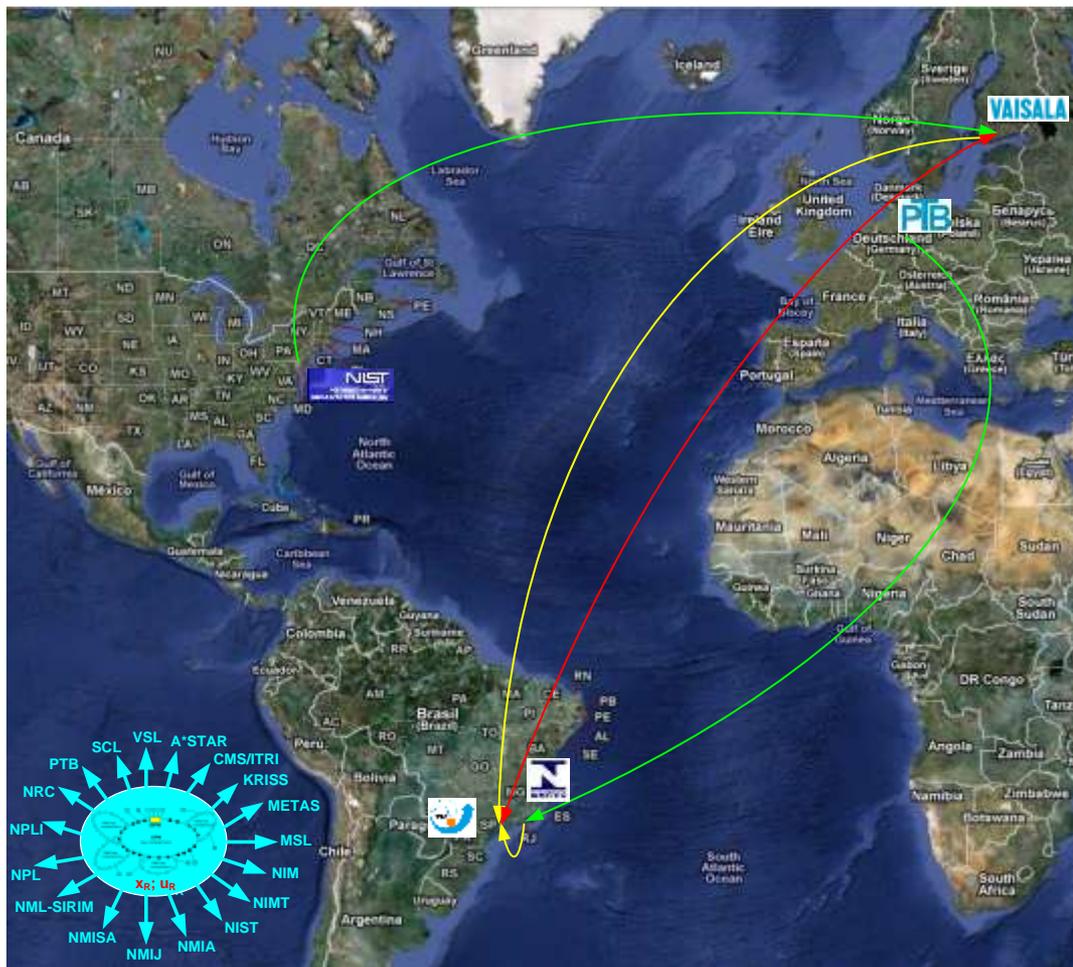
Padrão Nacional de Pressão (Lapre/Inmetro) e Sistema de calibração de pressão atmosférica do INPE/CPTEC/LIM

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<sub>ABS</sub> = +/- 0,21 hPa**  
**Calibração em 2010**

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

**BRASIL**  
PAIS RICO E PAIS SEM POBREZA

MINISTÉRIO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPaciais

**CPTEC**  
CENTRO DE PESQUISA DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

**Certificado de Calibração**

IDENTIFICAÇÃO: 070-12  
SERIALMENTE: -  
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  
Acreditação: INMETRO - LAPRE

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

**Digital Barometer, PTB220T2, Vaisala**  
Número de série: A0120002  
Certificado: DINCI 1475/2010  
Validade: JUL-2012  
Acreditação: INMETRO - LAPRE

**Procedimento de Calibração**

O procedimento de calibração baseia-se na comparação direta aos padrões de referência de referência de referência 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 350/GUM - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurements.

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

05/07/2012

Data de emissão

Márcio A. S. Santana  
Tecnologista  
Metrologista

Luiz Carlos Trindade Aguiar  
Responsável pelo grupo  
de atividades da LIM

Oswaldo Luiz Mendes  
Coordenador Geral  
do CPTEC

Laboratório de Metrologia de Referência  
Instituto de Física de Caruaru, Av. 5  
Caldeirão, Caruaru - PE  
CEP: 53.072-970  
Fone: (55) 3366-9111

**BRASIL**  
PAIS RICO E PAIS SEM POBREZA

MINISTÉRIO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPaciais

**CPTEC**  
CENTRO DE PESQUISA DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

**Certificado de Calibração**

IDENTIFICAÇÃO: 070-12  
SERIALMENTE: -  
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**      **SEGUNDO CICLO DE MEDIÇÃO**

| Pressão de Referência<br>P <sub>ref</sub><br>[hPa] | Pressão Indicada<br>P <sub>ind</sub><br>[hPa] | Ponto | Pressão de Referência<br>P <sub>ref</sub><br>[hPa] | Pressão Indicada<br>P <sub>ind</sub><br>[hPa] |
|--|---|-------|--|---|
| 700,40   | 700,21  | 1     | 700,83   | 700,83  |
| 800,89   | 799,94  | 2     | 799,95   | 799,80  |
| 880,95   | 880,00  | 3     | 880,89   | 880,95  |
| 900,71   | 900,00  | 4     | 902,25   | 902,10  |
| 1000,20  | 1000,24                                       | 5     | 1001,38  | 1001,30                                       |
| 1050,11  | 1050,04                                       | 6     | 1050,94  | 1050,87                                       |

**TABELA RESUMIDA (VALORES MÉDIOS)**

| Ponto | Pressão de Referência<br>P <sub>ref</sub><br>[hPa] | Pressão Indicada<br>P <sub>ind</sub><br>[hPa] | Correção<br>P <sub>ref</sub> - P <sub>ind</sub><br>[hPa] | Incerteza de Calibração**<br>U<br>[hPa] |
|-------|--|---|--|---|
| 1     | 700,81   | 700,42  | 0,39   | ± 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, mostrada neste Certificado não leva em consideração as incertezas relativas à equação de ajuste apresentada no gráfico.

**BRASIL**  
PAIS RICO E PAIS SEM POBREZA

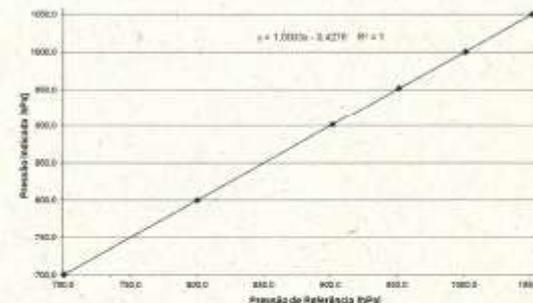
MINISTÉRIO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPaciais

**CPTEC**  
CENTRO DE PESQUISA DE TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

**Certificado de Calibração**

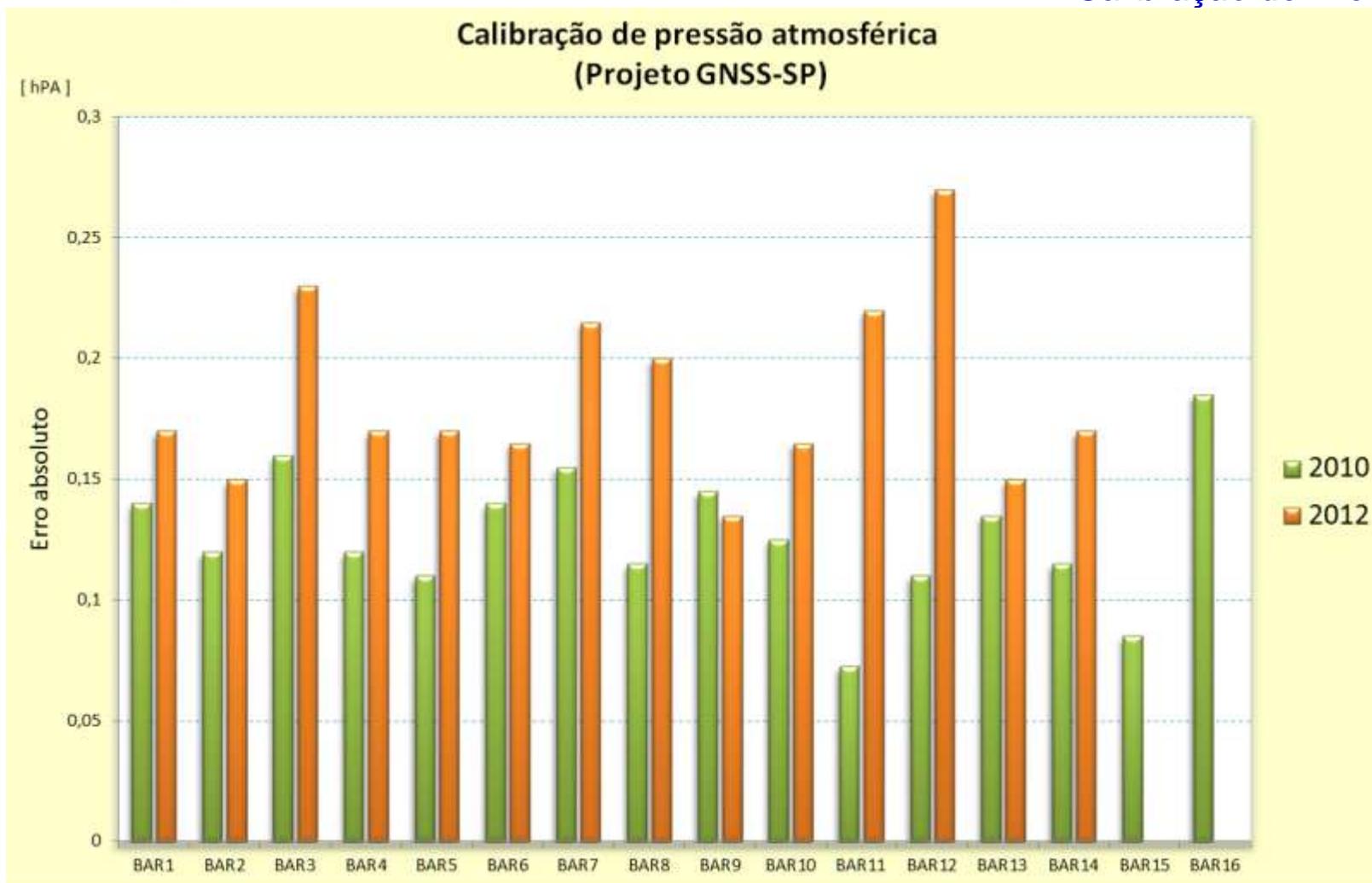
IDENTIFICAÇÃO: 070-12  
SERIALMENTE: -  
PÁGINA: 3 de 3

Calibração de Pressão Atmosférica (Sensor de Pressão Atmosférica PTU303, e a F0240007)  
Junho de 2012



Obs.: O presente certificado de calibração é válido apenas para o equipamento caracterizado na primeira página deste, não sendo estendido a quaisquer outros equipamentos da mesma marca que similares. Este certificado de calibração somente pode ser reproduzido em sua totalidade, mantidas reproduções parciais somente por meio eletrônico autorizadas pelo INPE. Recomenda-se a verificação e recalibração periódicas deste equipamento.

$U = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 + U_6 + U_7 + U_8 + U_9 + U_{10} + U_{11} + U_{12} + U_{13} + U_{14} + U_{15} + U_{16} + U_{17} + U_{18} + U_{19} + U_{20}$



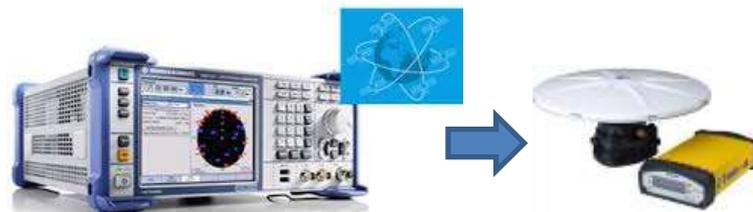
Acompanhamento dos barômetros utilizados na rede do projeto GNSS-SP

## 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](mailto:marcio.santana@cptec.inpe.br)*