

# Os Dados Meteorológicos e a Rastreabilidade de Medição aplicada à Instrumentação Meteorológica

Márcio A. A. Santana<sup>1</sup>, Ianuska R. Oliveira<sup>1</sup>, Patrícia L. O. Guimarães<sup>1</sup>, Paulo R. A. Aquino<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INPE / CPTEC / LIM / Metrologia Ambiental - Rod. Pres. Dutra, km 40- Cachoeira Paulista - SP - Brasil, email: ianuska.oliveira@cptec.inpe.br

**ABSTRACT:** *The objective of this paper is to present the ever closer relationship between the quality of environmental data and scientific metrology, in other words: how the traceability of measurement, which is evidenced by the calibration of meteorological and environmental sensors, linked to standards technical procedures accepted worldwide, can contribute to ensuring reliability and comparability of data between countries. This paper also presents the different calibration systems exist in some international bodies of meteorology and the systems that exist today in Brazil.*

**Palavras-chave:** Dados meteorológicos, Metrologia Ambiental, instrumentação meteorológica, rastreabilidade, calibração.

## 1 - INTRODUÇÃO

O desenvolvimento ocorrido no século XX nas aplicações industriais e nos diversos campos da ciência e tecnologia, incluindo a meteorologia trouxe uma melhoria importante na qualidade de vida (Trenberth, 2006; Mosati, 2005), contudo tem-se focalizado muita atenção na degradação do meio ambiente e nos problemas que o homem tem causado ao planeta (Trenberth, 2006). Para se estudar a diversidade destes fenômenos, os cientistas de todo o mundo têm buscado dados e informações para se obter uma maior compreensão dos efeitos causados no meio ambiente. São realizados monitoramentos de diversas variáveis, através de sistemas de observação compostos de sensores, transdutores e medidores manuais ou automáticos. Para que esses dados sejam confiáveis e aceitos mundialmente, a precisão das medições é assegurada e deve ser evidenciada por sua rastreabilidade aos padrões de medida ou materiais de referência certificados e internacionalmente reconhecidos (BIPM, PTB, NMISA, 2007). Segundo o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) o clima está mudando em um espaço curto de tempo e com tendência a mudar de forma ainda mais significativa e para pior, sendo mais provável que afete principalmente os países em via de desenvolvimento, ou seja, com menor capacidade de adaptação (IPCC, 2009). Hoje a economia brasileira tem expressiva base em recursos naturais renováveis, o que torna o país potencialmente vulnerável às mudanças climáticas, a vulnerabilidade está acentuada pelas disparidades regionais de desenvolvimento (Nobre, 2009).

Bons ventos sopram nas áreas meteorológicas e metrológicas no País. A aquisição de um novo supercomputador e a implantação de laboratórios de Metrologia Científica Ambiental no INPE, dentre outras iniciativas, faz com que o Brasil não se distancie do que está sendo feito no mundo em C&T aplicada à Meteorologia, nas áreas de previsão de tempo, clima e meio ambiente (Santana, 2009). Através da implantação da área de Metrologia Ambiental os requisitos metrológicos e as recomendações da OMM (Organização Meteorológica Mundial) são atendidos e garantem a confiabilidade das medições e com isso também proporcionam a comparação e uso de banco de dados ambientais nacionais e internacionais (INPE, 2009; Drnovsek, 2008).

## 2 - MATERIAIS E MÉTODOS

## 2.1 - O MONITORAMENTO AMBIENTAL

O monitoramento ambiental é um tema muito amplo e requer uma abordagem científica multidisciplinar. Profissionais nesta área requerem conhecimento em diversas disciplinas científicas como a química, física, biologia, matemática, estatística aplicada e computação (Artiola, 2004). No Brasil, atualmente existem mais de cinco mil estações de monitoramento, tais como meteorológicas, agrometeorológicas, hidrometeorológicas, hidrológicas, pesquisa aplicada, etc. (Santana, 2009).

## 2.2 - REQUISITOS METEO-METROLÓGICOS

Os dados de monitoramento ambiental requerem continuamente medidas mais exatas, e é praticamente impossível efetuar uma medição que seja totalmente isenta de erros ou incertezas (Araruna, 2007), por isso torna-se necessário conhecer e evidenciar a qualidade dos dados (WMO, 2008). Anemômetros não corretamente calibrados utilizados no levantamento eólico podem traduzir um grande prejuízo para a geração de energia elétrica (Ammonit, 2000) e é tecnicamente impossível construir dois equipamentos absolutamente idênticos. Sendo assim é necessário avaliar o grau de similaridade entre as medidas realizadas por um instrumento e valores deste mesmo parâmetro, determinados por um padrão, através da calibração (Ponzoni, 2007). As etapas para o monitoramento ambiental estão representadas na Figura 1(a). Como primeira atividade a metrologia é responsável pela calibração da instrumentação promovendo desta maneira, dados confiáveis para as tomadas de decisões. A Metrologia é o campo do conhecimento relativo às medições. Abrange todos os aspectos teóricos e práticos referentes às medições em todas as áreas da ciência e da tecnologia (ISO, 2004). Esta definição é consenso da Organização Internacional de Normalização (ISO), Organização Meteorológica Mundial (OMM), entre outras (WMO, 2008; ISO, 2004).



(a)

Figura 1 - (a) Etapas do monitoramento ambiental

(b) diagrama de rastreabilidade aplicada à instrumentação meteorológica

A rastreabilidade metrológica é a propriedade de um resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência. É o processo que permite comparar as medidas nacional ou internacionalmente, através de comparações, todas tendo incertezas estabelecidas (Inmetro, 2008). Dessa forma, é possível afirmar que 1 grau Celsius em um dado local é equivalente a qualquer lugar do mundo, e isto se estende as outras variáveis. O diagrama de rastreabilidade.



Redes internacionais de informações de dados de medidas de monitoramento e pesquisas meteorológicas requerem que toda a instrumentação utilizada deva ter metodicamente sua calibração inicial, verificações e recalibrações realizadas com a devida

rastreabilidade evidenciada para que o intercâmbio e a comparabilidade das informações entre países possam acontecer (WMO, 2008; Kratzenberg, 2003; SONDA, 2009; PIRATA, 2009). Na seleção e utilização da instrumentação deve-se, sempre que possível, atender às recomendações da OMM, BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*), MEASNET (*Measuring Network of Wind Energy Institutes*), entre outras. Na Tabela 1 temos um resumo das especificações técnicas para os sensores a serem utilizados nos sistemas de coleta de dados ambientais.

Tabela 1. Requisitos para especificação de sistemas de observação

Sistemas	Faixa de medição	Resolução	Incerteza de medição	Constante de tempo dos sensores
Temperatura do ar e do solo	- 80 a 60 °C	0,1 °C	0,1 °C	20 s
Temperatura de superfície do mar	-5 a 40 °C	0,001 °C	0,003 °C	n/d
Umidade do ar	5 a 100%	1%	3%	20 a 40 s
Ponto de orvalho	- 60 a 35 °C	0,1 °C	0,5 °C	20 s
Chuva (acumulada)	0 a 400 mm	0,1 mm	0,1 mm para $\leq 5$ mm e $\pm 2\%$ para $> 5$ mm	n/d
Chuva (intensidade),	0,02 a 2000 mm h <sup>-1</sup>	0,1 mm/h	Para 0,02 a 0,2 mm/h: n/d; 0,1 mm/h para 0,2 a 2 mm/h; 5% para $> 2$ mm/h	1 min
Radiação difusa e global	0 a 1400 Wm <sup>-2</sup>	1 Wm <sup>-2</sup>	2%	< 15 s
Radiação atmosférica	100 a 600 Wm <sup>-2</sup>	1 Wm <sup>-2</sup>	5%	< 20 s
Pressão atmosférica	500 a 1100 hPa	0,1 hPa	0,15 hPa	2 s
Nível (pressão c.a.)	0 a 1000 psi	0,03 psi	+/- 1,4 psi	n/d

Conforme as recomendações da OMM, os limites das faixas de trabalho dependem das condições climatológicas locais para cada variável. Os requisitos gerais apresentados na Tabela 1, se aplicáveis, podem ser utilizados como critério de aceitação para a instrumentação a ser utilizada na medição de variáveis meteorológicas. A incerteza de medição requerida corresponde à probabilidade de abrangência de aproximadamente 95 % (fator de abrangência  $k = 2,00$ ), para uma distribuição normal. Critérios de aceitação são parâmetros que servem como referência para verificar se o instrumento está adequado ao uso.

No Brasil, em algumas áreas, a calibração é normalmente confundida como uma mera comparação a outro instrumento e deposita-se excessiva credibilidade à instrumentação. A calibração abrange aspectos científicos além da rastreabilidade e da análise das incertezas inerentes aos processos de medição. Os metrologistas devem avaliar se os sensores sob calibração atendem às Leis da Física e/ou da Química que regem seus princípios de funcionamento.

### 2.3 - SISTEMAS DE CALIBRAÇÃO

Para que as atividades da área metrológica sejam realizadas de forma sistemática e atendendo à orientação de que é imprescindível registrar as pequenas variações meteorológicas, os sistemas de calibrações ideais devem normalmente ser de categoria superior aos objetos sob calibração, quando aplicáveis, em uma escala de 10:1, 4:1 e em alguns casos especiais 1:1. A Figura 2 mostra os sistemas de calibração para as variáveis de temperatura e umidade relativa do ar da NOAA/PMEL (*National Oceanic and Atmospheric Administration/Pacific Marine Environmental Laboratory*), do *Laboratoire de Métrologie da Météo France* e da área de Metrologia Ambiental do CPTEC/LIM, com rastreabilidade evidenciada. A Figura 3 mostra os sistemas de calibração para pressão. A Figura 4 mostra o túnel de vento da NOAA para calibração de anemômetros e o sistema de calibração de salinidade para os sensores subaquáticos utilizados em bóias. A Figura 5 mostra os sistemas de calibração de piranômetros e pluviômetros do CPTEC, com rastreabilidade ao WRC (*World Radiation Center*), Suíça e ao Inmetro/RBC, respectivamente.

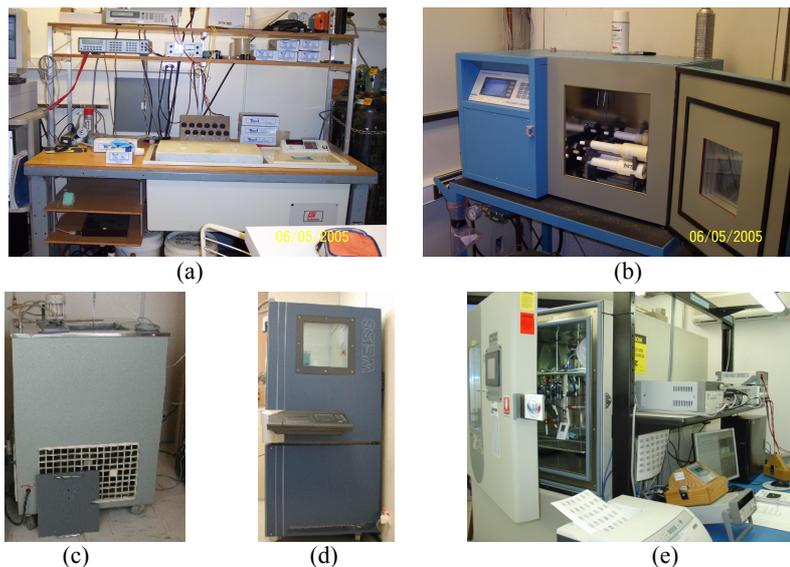


Figura 2 - Sistemas de calibração de temperatura e umidade relativa do ar: (a) e (b) NOAA; (c) e (d) *Météo France*; (e) INPE/CPTEC/LIM



Figura 3 - Da esquerda para a direita: sistema de calibração de pressão NOAA, *Météo France* e CPTEC.



Figura 4 - Túnel de vento e sistema de calibração de salinidade da NOAA.

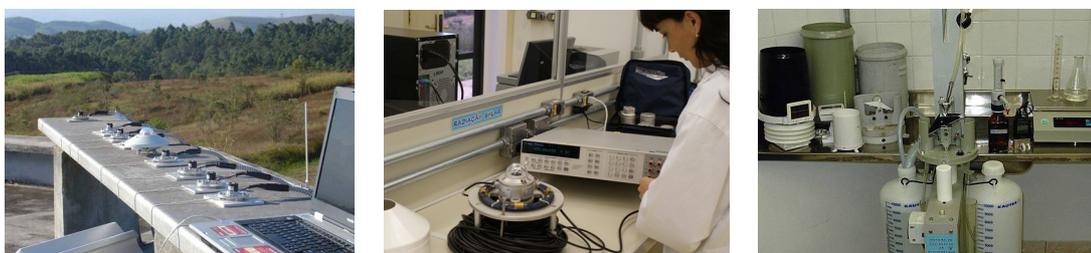


Figura 5 - Sistemas de calibração de piranômetro e de pluviômetro do INPE/CPTEC.

No LIM há ainda sistemas de calibração ou verificação de umidade e fluxo de calor no solo, vento e parâmetros de qualidade da água.

Além do monitoramento ambiental, sistemas devidamente calibrados podem servir como referência para calibração absoluta de sensores orbitais e aerotransportados.

### 3 - DISCUSSÃO

No Brasil a área de Metrologia Ambiental tem papel de destaque na pesquisa aplicada para validar os métodos, implantar os procedimentos de calibração e participar de comparações interlaboratoriais. Sendo também de suma importância à Meteorologia, principalmente ao que se refere às calibrações de estações meteorológicas, disponibilizando dados com uma maior confiabilidade aos órgãos de pesquisa e para tomadas de decisões.

### 4 - CONCLUSÃO

Atendendo às recomendações da OMM para que todas as variáveis estejam devidamente rastreadas, o INPE está se capacitando a realizar calibrações nos seus sensores, transdutores e medidores utilizados nas pesquisas e no monitoramento ambiental, proporcionando ainda ao País um avanço nas áreas em que algumas variáveis ainda são pouco difundidas metrologicamente.

Com a rastreabilidade evidenciada, os dados têm a confiabilidade assegurada e com isso pode haver comparabilidade com os dados de outras instituições, que têm este requisito implementado.

A recalibração dos sensores e medidores ambientais não vinha acontecendo de forma adequada no País, e os custos ainda preocupam os seus usuários, pois envolvem também gastos com logística. Um fator para minimizar os gastos com a calibração e maximizar a qualidade dos dados seria uma boa distribuição geográfica dos laboratórios no Brasil.

### 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEB. Medidas cada vez mais confiáveis. Revista Espaço Brasileiro, v.07, n.2, 2009.
- ARARUNA Jr, JOSÉ. Metrologia e Meio Ambiente. 9ª Semana Nacional de C & T. PUC RJ, 2007.
- ARTIOLA, J.F.; PEPPER, I.L.; BRUSSEAU, M. Environmental Monitoring and Characterization. USA, Elsevier, 2004.
- DMOVSEK, J. Metrology and Environment. Bridging the Gap. Responding to Environmental Change: from Words to Deeds. University of Ljubljana, Portorož, Slovenia, 14-16 May 2008.
- INMETRO, VIM, 3ª ed, INMETRO, Rio de Janeiro 2003.
- INPE. [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=1699](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=1699), disponível em 20 de abril de 2009.
- ISA. Recommended Environments for Standards Laboratories. Recommended Practice, RP52. 1-1975.
- ISO. Vocabulary Revision of the 1993 edition, VIM, 3rd Edition, Draft April 2004.
- KRATZENBERG, M. G.; COLLE, S.; PEREIRA, E. B; MANTELLI Neto, S. L.; BEYER, H. G. & ABREU, S. L. Rastreabilidade de Radiômetros para Medição da Energia Solar no Brasil, Metrologia, 2003.
- MEBTECHNIK, A.G. für mbH, Measurement of wind energy for a correct prognosis. Berlin, 2000.
- MOSATI, G. As Bases Científicas da Metrologia e vice versa, ENQUALAB-2005, São Paulo 2005.
- PONZONI, F. J.; ZULLO Jr., J. & LAMPARELLI, R. A.C. Calibração Absoluta de Sensores Orbitais, Editora Parêntese, 2007.
- Projeto PIRATA, disponível em <http://satelite.cptec.inpe.br/pirata/>, abril de 2009.
- Projeto SONDA, disponível em <http://sonda.cptec.inpe.br/>, abril de 2009.
- PTB, NMI of South Africa, BIPM. Metrologia - As medições no nosso Meio Ambiente, 2007.
- SANTANA, M. A. A. & GUIMARÃES, P. L. O. A Metrologia científica na área ambiental e a instrumentação meteorológica no INPE/CPTEC. Metrologia 2009. Salvador, 2009.
- SANTANA, M. A. A.; GUIMARÃES, P. L. O.; THOMAZ, J. C. Jr. & ARLINO, P. R. A. Rastreabilidade Metrológica e os Critérios de Aceitação para a Instrumentação Meteorológica / Ambiental, ENQUALAB 2008, São Paulo-SP, 2008.
- TRENBERTH, K. E.; MOORE, B.; KARL, T. R. & NOBRE, C. A. Monitoring and prediction of the earth's climate: a future perspective. Journal of Climate, v. 19, n. 20, p. 5001- 5008, 2006.
- UN - United Nations, IPCC. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch), disponível em 24 de junho de 2009.
- WMO. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation, Observing our planet for a better future.
- WMO Bulletin, v.57, seventh edition, 2008.