

## Calibração de pluviômetros: comparação de métodos Rain gauge calibration: comparison between methods

**Márcio A. A. Santana<sup>1</sup>, Patrícia L. O. Guimarães<sup>1</sup>, Clemerson Gomes Lopes<sup>1</sup>,  
Carlos Eduardo Jeronimo<sup>2</sup>, João Carlos Carvalho<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / CPTEC / LIM / Metrologia Ambiental, Brasil; <sup>2</sup> ANA – Agência Nacional das Águas, Brasil.

E-mail: marcio.santana@cptec.inpe.br, profmarciosantana@gmail.com

**Resumo:** Em virtude do atual aumento na busca por dados hidrológicos confiáveis, o estudo comparativo de métodos de calibração é uma importante ferramenta para os laboratórios que intencionam atender à crescente demanda por serviços de calibração de instrumentação meteorológica. Este artigo apresenta um estudo comparativo entre a calibração de pluviômetros utilizando os métodos volumétrico e gravimétrico.

**Palavras-chave:** medidor de chuva, pluviometria, gravimetria, volumetria, metrologia ambiental.

**Abstract:** Due to the current increase in the search for reliable hydrological data, the comparative study of calibration methods is an important tool for laboratories that intend to meet the growing demand for meteorological instrumentation calibration services. This article presents a comparative study between the rain gauges calibration using the volumetric and gravimetric methods.

**Keywords:** rain gauge, pluviometry, gravimetry, volumetry, environmental metrology.

### 1. INTRODUÇÃO

A previsão da metrologia aplicada à pluviometria é que uma nova frente de trabalho se aproxima de vários laboratórios ao longo desta década. No decorrer deste período teremos tempo estável, sem chuva em algumas localidades do orbi, estiagem ou chuvas intensas em outras e pancadas em diversos pontos isolados, porém deve chover mais dados confiáveis que a média histórica se confirmada a calibração da instrumentação meteorológica. A observação da chuva nos últimos anos, tendo o aumento dos polígonos de seca de um lado e o excesso de precipitação de outro, contextualiza a

necessidade do incremento da pesquisa aplicada na calibração dos sensores de chuva para auxílio nas tomadas de decisão de diversos setores da sociedade, tais como defesa civil, energia, saúde, previsão de tempo e clima, entre outras. Este artigo apresenta uma síntese dos resultados de um estudo comparativo realizado com todo o rigor metrológico [1] sobre os métodos utilizados na calibração do modelo de pluviômetro mais utilizado mundialmente.

### 2. MÉTODO

Neste experimento foram utilizados dois pluviômetros de balsa, também conhecidos como *TBRG – tipping bucket rain gauge*. Os

*TBRGs* são os medidores de chuva mais utilizados no Brasil e no mundo [2, 3, 4]. Os *TBRGs* medem o acumulado de chuva através de um dispositivo denominado báscula, que a cada determinado volume de chuva precipitado gera um pulso através de um contato do tipo *on-off*, utilizando um *reed-switch* ou um componente similar. Estes pulsos são registrados por um sistema de aquisição de dados *SAD* [4, 5]. A figura 1(a) ilustra um *TBRG*. Um pluviômetro com resolução de 0,10 mm e outro de 0,20 mm de um mesmo fabricante foram utilizados neste trabalho.

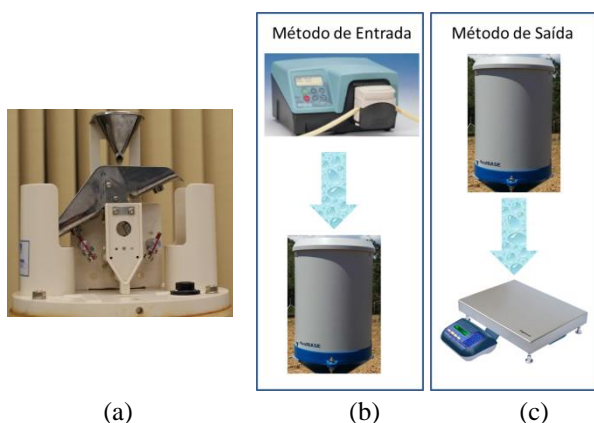


Figura 1 - (a) *TBRG*, (b) método de entrada, (c) método de saída

Os métodos utilizados na calibração de *TBRGs* são classificados como de entrada *ME* ou de saída *MS*, classicamente conhecidos como volumétrico ou gravimétrico, respectivamente [4, 5, 6]. A figura 1(b) ilustra o *ME*, ou seja, uma bomba peristáltica simula a chuva fornecendo volumes pré-estabelecidos de água para o *TBRG* e a figura 1(c) mostra o *MS*, ou seja, a balança registra as massas de água da saída do *TBRG*. Em ambos os casos, os pulsos do *TBRG* são registrados em um *SAD*. No *ME*, a determinação do volume de água para uma quantidade de chuva é realizada de acordo com a área de captação do coletor *A* em mm<sup>2</sup> e a resolução do pluviômetro *RES* em mm, conforme equação (1).  $V_{50TIPS}$  é o volume para 50 basculadas, em mm<sup>3</sup>.

$$V_{50TIPS} = 50.A.RES \quad (1)$$

O volume de água coletada *V*, em ml, após cada basculada pode ser expresso como a razão do peso da água *W*, em g, para as diferenças da densidade da água  $\delta_{\text{água}}$  e do ar  $\delta_{\text{ar}}$ , em g.ml<sup>-1</sup>, de acordo com a equação 2 [7]. Para os cálculos das densidades e massa específica foi utilizado o *Guidelines on the determination of uncertainty in gravimetric volume calibration - EURAMET cg-19* [7].

$$V = \frac{W}{\delta_{\text{água}} - \delta_{\text{ar}}} \quad (2)$$

A tabela 1 mostra a relação dos padrões e equipamentos utilizados e a tabela 2 um resumo das etapas dos procedimentos de calibração para cada método estudado [8].

O experimento foi realizado de modo simultâneo utilizando o *ME* e o *MS*, ou seja, registrou-se o volume de água da bomba, o momento da basculada (*time stamp*: hora, minuto e segundo) e a massa da água após passar pelo *TBRG*. Este conjunto de dados serviu de base para a análise de cada método. Resumidamente, os procedimentos de calibração baseiam-se na realização de séries de quinze medidas, na verificação da área de captação e na série de cinco medidas para cada ponto de calibração do acumulado de “chuva” para as intensidades de chuva *RI* de aproximadamente 15, 30, 60, 90, 120 e 150 mm/h, sendo informados os valores médios [8]. Antes e depois de cada série de medidas do acumulado de chuva, a balança é verificada utilizando um peso padrão calibrado. A bomba é calibrada utilizando-se a balança com volumes de água pré-estabelecidos para 100 e 50 basculadas. Cuidados são tomados para minimizar os resíduos de água na mangueira da bomba. O resultado da calibração da bomba é tratado como uma das contribuições de incerteza. A incerteza expandida de medição *U* relatada equivale à incerteza padrão combinada multiplicada pelo fator de abrangência “*k*”, para um nível de

confiança de 95,45%, e foi determinada de acordo com os documentos *EURAMET cg-19* e *ISO/GUM - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* [7, 9].

Tabela 1 - Padrões e equipamentos utilizados.

Padrões e equipamentos utilizados *calibrado na Rede Brasileira de Calibração [8]	ME	MS
Balança Digimed DG-15W*		✓
Combined pressure, humidity and temperature transmitter, Vaisala, PTU307*	✓	✓
Datalogger Campbell Scientific CR1000M*	✓	✓
Paquímetro Digital Digimess 100.178 BL*	✓	✓
Peristaltic pump Watson-Marlow, 323Dz	✓	
Pesos padrão Quanto Brasil 1kg M1*	✓	✓
Thermistor Campbell Scientific 108-L*	✓	✓
TBRG Dualbase (objetos sob calibração)	✓	✓

Tabela 2 - Etapas do procedimento de calibração.

Procedimento de calibração (resumo)	
Método de Saída MS	Método de Entrada ME
<b>A - Calibração de acumulado de chuva para RI <math>\leq 15</math> mm/h</b>	
- Medidas das condições ambientais (temperaturas da água e do ar, umidade relativa do ar e pressão atmosférica) para cálculo da massa específica [7].	
- Verificação do diâmetro do coletor do objeto sob calibração com paquímetro para cálculo da área de captação do pluviômetro [5].	
- Verificação da balança com peso padrão [7].	- Ajuste e calibração da bomba peristáltica com balança e peso padrão.
- Fornecimento de água simulando RI $\approx 15$ mm/h.	- Configuração da bomba para volume de 1, 2, 5, 10, 20, 50 e 100 basculadas (para $\approx 15$ mm/h).
- Registro de TimeStamp (HH:MM:SS) e das medidas de massa para as basculadas de número 1, 2, 5, 10, 20, 50 e 100 através de balança e datalogger.	- Registro de TimeStamp (HH:MM:SS) e dos números de basculadas através de datalogger.
<b>B - Calibração de 50 basculadas para RIs de 30, 60, 90, 120, 150 e 180 mm/h.</b>	
- Fornecimento de água para a intensidade desejada.	- Configuração da bomba para volume de 50 basculadas e para intensidade desejada.
- Registro de TimeStamp e das medidas de massa para a basculada de número 50.	- Registro de TimeStamp e dos números de basculadas.
- Verificação da balança. [7]	- Verificação da bomba.
- Medidas das condições ambientais.	

### 3. RESULTADOS

As tabelas 3 e 4 mostram os resultados da calibração do pluviômetro de RES 0,10 mm para as duas faixas de intensidade de chuva RI e as

tabelas 5 e 6 para o de RES 0,20 mm.  $Q_N$  é a quantidade nominal,  $Q_M$  é a quantidade medida em mm e baseia-se na equação (3).  $V$  é o volume calculado em  $\text{mm}^3$  e  $R$  é o raio da área de captação em mm.

$$Q_M = V / (\pi \cdot R^2) \quad (3)$$

Tabela 3 - Calibração de acumulado de chuva - RES = 0,1 mm - RI baixa - 100 basculadas.

$Q_N$ [mm]	Método gravimétrico (RI = 13,7 a 15,2 mm/h)			Método volumétrico (RI = 13,9 a 15,9 mm/h - 4 rpm)		
	$Q_M$ [mm]	U [%]	k	$Q_M$ [mm]	U [%]	k
1,00	0,98	$\pm 2,9$	2,65	1,00	$\pm 3,1$	2,00
2,00	1,91	$\pm 2,8$	2,87	2,00	$\pm 1,9$	2,00
5,00	4,96	$\pm 2,1$	2,87	5,01	$\pm 2,7$	2,07
10,00	9,89	$\pm 1,2$	2,87	10,06	$\pm 1,7$	2,52

Tabela 4 - Calibração de acumulado de chuva - RES = 0,1 mm - RI = 30 a 178 mm/h.

RI [mm/h]	$V_{50TIPS}$ [mm]	Método gravimétrico			Método volumétrico (156,5 ml - 8 a 48 rpm)		
		$Q_M$ [mm]	U [%]	k	$Q_M$ [mm]	U [%]	k
30		5,04	$\pm 1,3$	2,52	4,92	$\pm 2,3$	2,01
59		4,96	$\pm 1,2$	2,52	5,00	$\pm 2,6$	2,04
88	5,00	4,88	$\pm 1,7$	2,65	5,10	$\pm 2,4$	2,02
118		4,90	$\pm 1,6$	2,65	5,10	$\pm 2,4$	2,02
178		4,95	$\pm 2,2$	2,65	5,00	$\pm 2,6$	2,04

Os diâmetros das áreas de captação medidos foram 199,49 e 199,62 mm com um desvio padrão experimental de 0,07 e 0,05 mm para RES 0,10 e 0,20 mm, respectivamente. O resultado final da calibração, ou seja, as resoluções médias medidas estão descritas na tabela 7 e através do “teste t” ficou comprovado que não há diferenças estatisticamente significativas entre as médias para o nível de confiança de 95% [10], porém variando-se RI para uma faixa mais ampla vimos um erro de até  $\pm 1\%$  (para MS), ou  $\pm 1$  basculada (para ME).

A diferença da RI pode variar de 1,5 a 4,6 % na faixa de 13,7 a 15,9 mm/h e que não variou na faixa de 30 a 178 mm/h, para o TBRG de RES 0,10 mm. No caso de RES 0,2 mm, a diferença é

de 0,8 % para a faixa de 12,6 a 13,6 mm/h e de 1,4 a 2,2 % para a faixa de 26 a 120 mm/h.

Tabela 5 - Calibração de acumulado de chuva -  
 $RES = 0,2 \text{ mm} - RI \text{ baixa} - 100 \text{ basculadas}$ .

QN [mm]	Método gravimétrico (RI = 12,6 a 13,6 mm/h)			Método volumétrico (RI = 12,7 a 13,6 mm/h - 4 rpm)		
	QM [mm]	U [%]	k	QM [mm]	U [%]	k
2,00	2,00	± 0,41	2,02	1,96	± 6,0	2,65
4,00	4,00	± 1,0	2,52	3,92	± 4,0	2,15
10,00	9,96	± 0,85	2,65	9,92	± 1,4	2,43
20,00	20,01	± 0,21	2,52	19,98	± 0,70	2,43

Tabela 6 - Calibração de acumulado de chuva -  
 $RES = 0,2 \text{ mm} - RI = 26 \text{ a } 90 \text{ mm/h}$ .

RI [mm/h]	V <sub>50TIPS</sub> [mm]	Método gravimétrico			Método volumétrico (313 ml - 9 a 48 rpm)		
		Q <sub>M</sub> [mm]	U [%]	k	Q <sub>M</sub> [mm]	U [%]	k
26	10,00	9,94	± 1,1	2,65	10,00	± 0,62	2,00
52		10,05	± 0,72	2,65	9,84	± 1,2	2,23
72		9,97	± 0,60	2,52	9,92	± 1,4	2,28
90		10,04	± 0,11	2,13	9,80	± 0,63	2,00
120		10,04	± 0,35	2,52	9,80	± 0,63	2,00

Tabela 7 - Resolução média medida da calibração  
de TBRG.

	$R_{MEDI}$ Resolução média medida [mm]			
	Pluviômetro Res = 0,10 mm		Pluviômetro Res = 0,20 mm	
	Medida	Aproximada	Medida	Aproximada
Método volumétrico	0,100	0,10	0,198	0,20
Método gravimétrico	0,099	0,10	0,200	0,20
Diferença	0,001	0	0,002	0

#### 4. CONCLUSÃO

A contribuição de incerteza mais significativa é a do tipo A (repetibilidade) para os dois métodos de calibração avaliados. Para as contribuições do tipo B, àquelas relativas à bomba e à balança são mais as mais relevantes para o método volumétrico e gravimétrico, respectivamente, sugerindo uma análise futura mais apurada no sentido de minimizá-las.

Conclui-se que a escolha adequada do método de calibração depende da aplicação a qual se destina o TBRG, uma vez que além da quantidade de chuva, a medida de intensidade de chuva RI é muito importante devido aos impactos causados por eventos extremos de chuva, que são aqueles onde ocorre grande quantidade de chuva em curto intervalo de tempo.

“... o sertão vai virar mar e o mar vai virar sertão” Antonio Conselheiro, líder religioso brasileiro do começo do século XIX, considerado louco.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Jornada, J. A. H. *Nascem novas diretrizes para o avanço da Metrologia brasileira*. Revista C&I, ed. 81. São Paulo, SP. Junho de 2003.
- [2] WMO, “Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation”, Edition, 2014.
- [3] ANA. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília, DF, 2012.
- [4] M. Santana, P. Guimarães, L. Lanza, E. Vuerich. *Metrological analysis of gravimetric calibration systems for tipping bucket rain gauges*. MMC2014, Conference Metrology for meteorology and climate. Brdo, Slovenia, 2014.
- [5] Santana M, Guimarães P, Lopes C, Silva L e Silva C. *Metrologia aplicada à pluviometria*. *Metrologia 2013*. Ouro Preto, MG, nov. 2013.
- [6] Métodos de calibración de volúmenes. [http://www.provimexcientifica.com.mx/main/page\\_news\\_gallery\\_metodos\\_de\\_calibracin\\_.html](http://www.provimexcientifica.com.mx/main/page_news_gallery_metodos_de_calibracin_.html), set. 2014.
- [7] EURAMET. 2011. Guidelines on the determination of uncertainty in gravimetric volume calibration. Euramet cg-19, version 2.0. (03/2011).
- [8] IPQ/INMETRO. VIM 2012 - Vocabulário Internacional de Metrologia - Conceitos Fundamentais e Gerais de Termos Associados. 1ª edição Luso - Brasileira do JCGM 200:2012. BIPM. 2012.
- [9] JCGM. 2008. Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). BIPM. JCGM 100:200.
- [10] Montgomery, D. C. *Design and Analysis of Experiments*, John Wiley and Sons, 8<sup>th</sup> Edition, 2012.