

BANCADA PORTÁTIL PARA CALIBRAÇÃO E MANUTENÇÃO DE PLUVIÔMETROS DE BÁSCULA

*Severino Lopes da Silva Filho*¹; *José Roberto Gonçalves de Azevedo*²;

*Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral*³

RESUMO - Apesar de que todos os instrumentos utilizados numa estação meteorológica serem importantes para a Área de Recursos Hídricos, pode-se considerar que os pluviômetros e os pluviógrafos estão num patamar de relevância superior, pelo fato das informações que os mesmos medem serem de relevância vital tanto para o dimensionamento como para a operação de obras hidráulicas, tais como: barragens, canais, sistemas de irrigação e drenagem, entre outros. Levado pela sua grande utilização, os pluviômetros de báscula (Tipping Bucket Rain Gauge - TBRG) tem uma posição de destaque entre os diversos tipos de equipamentos ligados à medição da precipitação pluviométrica. A grande maioria dos trabalhos pesquisados sobre esses equipamentos, relacionado com a sua Verificação (ou Aferição), Calibração e/ou Ajuste, como também, às vezes, com a sua manutenção (preventiva ou corretiva), são executados em bancadas de calibração montadas em Laboratórios convencionais. O objetivo deste trabalho é apresentar uma bancada portátil de calibração (simples e prática) de forma a evitar o traslado do TBRG do seu local de instalação para os referidos laboratórios, como também desenvolver um processo de calibração focado na eficiência e na praticidade.

ABSTRACT - In spite of all instruments used in a meteorological station present their importance for the Water Resource Area, it can be considered that the rain gauges and the pluviographs are at a superior relevancy, because their measuring information are necessary for both: dimensioning and hydraulic works, such as dams, canal system, irrigation and drainage system, among others. Driven by its extensive use, the tipping rain gauges (Tipping Bucket Rain Gauge - TBRG) has a prominent position among the various types of equipment for the measurement of rainfall. Most of researched studies, related to equipment Inspection (or Gauging), Calibration or Adjustment, as well as, sometimes, with its maintenance (preventive or corrective), are performed in calibration benches set in conventional laboratories. The aim of this work was to create a calibration bench (simple and useful) in order to avoid the TBRG move from its installation spot to the reported laboratories, as well as to develop a calibration process focused in efficiency and practicality.

Palavras-Chave - Estações Automáticas, Pluviógrafos de Báscula, Bancada de Manutenção Portátil.

¹ Engenheiro Civil e Mestre em Recursos Hídricos - CTG - Av da Arquitetura, s/n Cidade Universitária, Recife, PE – CEP: 50740-550 – Fone: 2126-7761 -slsfilho@yahoo.com.br

²Prof. Associado – UFPE - CTG – DeCivil - Av da Arquitetura, s/n Cidade Universitária, Recife, PE – CEP: 50740-550 - Fone: 2126-8709 – jrga@ufpe.br

³Prof. Titular - UFPE - CTG - Av da Arquitetura, s/n Cidade Universitária, Recife, PE – CEP: 50740-550 - Fone: 2126-8223 - jcabral@ufpe.br

1 – INTRODUÇÃO

A pluviometria, pode ser definida como a parte da hidrologia que aborda os processos pelo qual se pode mensurar, ou avaliar, valores que representem, ou deem ideia do tamanho de um evento de precipitação pluviométrica em uma região ou uma bacia hidrográfica [Salgueiro, João Hipólito Paiva de Brito (2005)].

Dado a sua importância com relação à vida na terra, a água cada vez mais requer atenção especial por diversos fatores e, sobretudo, com relação ao monitoramento da distribuição temporal de precipitação, tendo em vista os reflexos que podem causar tanto positivamente como negativamente na natureza, já que estão presentes em diversas aplicações, tais como, na agricultura (irrigação); defesa civil (enchentes, deslizamentos, desabamentos, situações meteorológicas); recursos hídricos (mananciais), etc.

Para atender a necessidade de monitoramento que a precipitação pluviométrica requer, é importante o uso dos sensores de chuvas ou pluviômetros automáticos, como são mais conhecidos.

Até o presente momento, todos os trabalhos direcionados para a Manutenção, Verificação (aferição)/Ajuste ou Calibração dos pluviômetros automáticos dotado de báscula, o qual a partir de agora, ao nos referirmos a eles poderemos também chama-los de **TIPPING BUCKET RAIN GAUGE** são efetuados em bancadas fixas montados em laboratórios e muitas vezes a centenas de quilômetros das estações hidrológicas.

Isto, muitas vezes acarreta problemas de várias ordens, entre eles, poderíamos citar: interrupção da aquisição de dados pluviométricos; logística; perda de tempo; financeiro; já que esses equipamentos são removidos das suas respectivas estações até o laboratório.

Uma solução viável para sanar esta questão, está no desenvolvimento de um laboratório móvel (de campo), pelo qual se possa transporta-lo até os locais onde se encontram instalados esses instrumentos.

Isto iria contribuir sobre tudo para evitar erros relacionados com o objetivo fim desses equipamentos, que é a medição pluviométrica, já que, qualquer intervenção no mesmo se daria “in loco”.

1.2 - RELEVÂNCIA

O presente trabalho tentará minimizar os seguintes aspectos negativos:

- Dificuldade de manutenção e aferição dos pluviômetros instalados em locais distantes;
- Procedimentos de instalação do equipamento;

- Posicionamento dos mesmos no campo;
- Constatação de que alguns equipamentos já vêm da fábrica com um percentual de erro nas suas medições acima do tolerável (5%).

2 – METODOLOGIA

Objetivando analisar e averiguar as respostas do equipamento relacionadas com sua medição, inicialmente foi efetuado um trabalho de calibração, no Laboratório de Hidráulica do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, visando verificar as adequações dos vários dispositivos construídos e/ou adquiridos, como também, efetuar ensaios preliminares com a finalidade de observar a eficácia da metodologia proposta para a calibração dos aparelhos.

Posteriormente efetuou-se uma **2ª calibração**, em campo, mais precisamente no Instituto Federal de Pernambuco (IFPe) - Campus Vitoria de Santo Antão, usando-se outro pluviômetro da mesma marca e modelo.

Foram repetidos em campo, todos os procedimentos de instalações e medições, objetivando confronta-los com as hipóteses propostas.

Para tal, desenvolveu-se uma bancada (de campo) dotada de condições compatíveis com a sua finalidade no que diz respeito à rapidez de montagem (e desmontagem), ajustamento à topografia do terreno, facilidade de transporte e leveza. Tudo isso, aliado a acessórios, tais como: Contador de eventos, Bomba Hidráulica manual, Base nivelante, Reservatórios de água (inferior e superior), Pipetas (fluxo de água e sucção), Tripés, Hastes ente outros. Todo o sistema foi necessário para o **exercício de Verificação/Calibração/Ajuste dos Pluviômetros em questão, servindo também como apoio a um possível trabalho de manutenção (preventiva/corretiva).** (Figura. 01 e 02).



Figura 01 – Bancada de campo

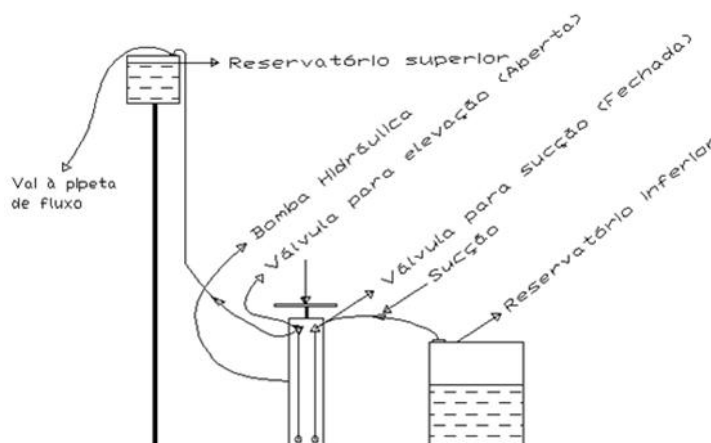


Figura 02 – Elevação da água

Inicialmente, foram efetuadas as primeiras experiências em ambos os equipamentos mantendo-se as calibrações provenientes de fábrica, com a finalidade de observar se as mesmas apresentavam erros dentro (ou fora) das incertezas de medição recomendadas pela **Organização Meteorológica Mundial**.

Para a simulação da precipitação, foram aplicados dois tipos de fluxos, ou seja, **o contínuo e o em gotejamento**. O segundo fluxo (**gotejamento**) nos assegura de que só após a inflexão de um dos baldes da báscula, é que o gotejamento seguinte irá precipitar-se no balde em elevação.

Com relação ao número de basculamentos, adotou-se um total de 20, sendo, 10 articulações para cada lado. Conforme a resolução dos pluviômetros usado nos trabalhos (**0,01"**), cada **balde** terá que entrar em inflexão com uma captação de **7,98 mL** de água.

3 – RESULTADOS

As medições nos triângulos formados pelos lados **b**, **a** e **y** (**Figura 03**) referentes ao espaço disponível para girar os parafusos, foram efetuadas através de paquímetro com precisão de centésimos de milímetro [Silva Filho, Severino Lopes da (2014)].

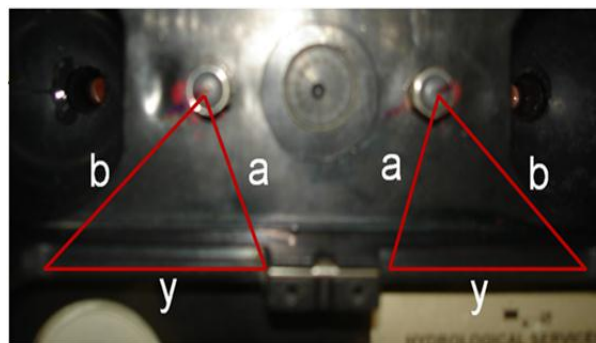


Figura 03 – Lados do triângulo

Para a determinação do deslocamento da chave visando rotacionar os respectivos parafusos em ângulos diferentes de 360° , foi utilizado a Lei dos Cossenos e a Lei dos Senos [Silva Filho, Severino Lopes da (2014)].

Lei dos Cossenos:

A lei dos cossenos é enunciada da seguinte forma: **“Em qualquer triângulo ABC, o quadrado da medida de um lado é igual à soma dos quadrados dos outros dois lados menos**

duas vezes o produto das medidas desses lados pelo cosseno do ângulo que eles formam”
Equação (1) [Dante, Luiz Roberto (2001)].

$$y^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot ab \cdot \text{Cos } \alpha \quad (1)$$

A **Equação (1)** nos permite calcular os ângulos (α , θ , β) (**Tabelas 01**), necessários para se determinar o giro máximo possível aos parafusos de acordo com o formato do equipamento.

Tabela 01 – Lei dos Cossenos (α)

DIA: 13/03/2013				
BALDE ESQUERDO → ÂNGULO DE ROTAÇÃO(α) NO PARAFUSO DIREITO				
Lei dos Cossenos → $y^2 = a^2 + b^2 - 2 \cdot ab \cdot \text{Cos } \alpha$				
y	a	b	2.a.b	$\alpha = 73,16^\circ$
45,90	32,10	43,40	2786,28	
y^2	a^2	b^2	$(a^2 + b^2)$	
2106,81	1030,41	1883,56	2913,97	

_ Lei dos Senos:

Já a lei dos senos tem o seguinte anúncio: “Em qualquer triângulo ABC, as medidas dos lados são proporcionais aos senos dos ângulos opostos” **Equação (2)**[Gabriel Alessandro de Oliveira (2013)].

$$\frac{b}{\text{Sen}_{\theta_1}} = \frac{Y}{\text{Sen}_{\alpha_1}} \quad (2)$$

3.1) Calibração do segundo pluviômetro (no campo).

Foi utilizado na calibração do segundo pluviômetro um equipamento da mesma marca modelo: TB4/0,01”; número de série: 02-92. (**Figura 04**).

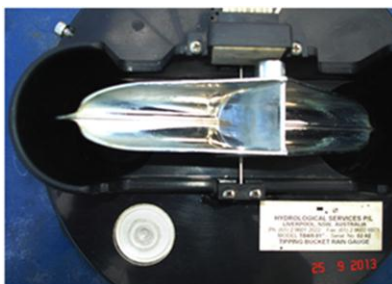


Figura 04 – Pluviômetro Marca: CAMPBELL Modelo: TB4/.01”/N.S.: 02-92

Após efetuada uma primeira medição no mesmo, com calibração de fábrica verificou-se que havia um erro na sua **incerteza de medições** acima do recomendado pela **OMM (5%)** (Tabela 02).

Tabela 02 – Parafusos com calibração de fábrica

1ª Experiência			Diferença: 1ª Experiência - 10 Basculamentos	
Basculam	B. Esq. (mL)	B. Dir. (mL)	B. Esq. (mL)	B. Dir. (mL)
10	92,2		12,4	11,3
10		91,1	Incerteza de medições (%)	
Giros	0		B. Esq. (%)	B. Dir. (%)
Compl.	17,2	16,1	15,5 > 5%	14,2 > 5%

Na 2ª Experiência foram rebaixados ao máximo os dois parafusos (Tabela 03).

Tabela 03 – Parafusos rebaixados ao máximo

20 ARTICULAÇÕES CONTÍNUAS COM FLUXO CONTÍNUO				
2ª Experiência			Diferença: 2ª Experiência - 10 Basculamentos	
Basculamento	B. Esq. (mL)	B. Dir. (mL)	B. Esq. (mL)	B. Dir. (mL)
10	118,8		39,0	36,2
10		116,0	Incerteza de medições ≤ 5%	
Compl.	18,8	16,0	B. Esq. (%)	B. Dir. (%)
Giros	0		48,9	45,4

OBSERVAÇÕES PARA A TABELA 03:

- 1) “**B. Esq.**” (Balde Esquerdo): É o volume total captado para cada 10 basculamentos.
- 2) “**B. Dir.**” (Balde Direito): É o volume total captado para cada 10 basculamentos.
- 3) “**GIROS**”: Informa o número de rotação para cada **experiência**. Podendo ser diferentes em cada parafuso.
- 4) “**COMPL**”: É o complemento do último volume de água captado pela pipeta para cada 10 basculamentos.
EX.: **B. Esq.** ⇒ 124,7 mL = 4 x 25,0 mL (Volume da pipeta) + 24,7 mL (Último volume captado pela pipeta).
- 5) **BASCULAMENTO**: Numero de articulações.

Da 3ª à 5ª Experiência os parafusos foram elevados em um giro de 360°, conforme os volumes apresentados para a 5ª Experiência. (Tabela 04)

Tabela 04 – Volumes medidos na 5ª Experiência

20 ARTICULAÇÕES CONTÍNUAS COM FLUXO CONTÍNUO				
5ª Experiência			Diferença: 5ª Experiência - 10 Basculamento	
Basculamento	B. Esq. (mL)	B. Dir. (mL)	B. Esq. (mL)	B. Dir. (mL)
10	85,5		5,7	2,5
10		82,3	Incerteza de medições $\leq 5\%$	
Compl.	10,5	7,3	B. Esq. (%)	B. Dir. (%)
Giros	Mais um giro de 360°		7,1	3,1

Tendo em vista, haver uma variação nos volumes para cada giro de 360°, procurou-se tirar uma média aritmética dessas diferenças volumétricas (**Tabela 05**).

Tabela 05 – Média das diferenças de volume

MÉDIA NO BALDE ESQUERDO (mL)	
2ª Exp. - 3ª Exp.	11,9
3ª Exp. - 4ª Exp.	9,7
4ª Exp. - 5ª Exp.	11,7
MÉDIA ARITMÉTICA	11,1
MÉDIA NO BALDE DIREITO (mL)	
2ª Exp. - 3ª Exp.	13,0
3ª Exp. - 4ª Exp.	6,1
4ª Exp. - 5ª Exp.	14,6
MÉDIA ARITMÉTICA	11,2
MÉDIA DAS MÉDIAS	
11,2 mL	

Determinou-se os volumes visando os giros a serem dados nos respectivos parafusos para a 6ª Experiência (**Tabelas 06 e 07**).

Tabela 06 – Diferença entre a 5ª Experiência e 10 Basculamentos

Dif.: 5ª Exp. - 79,8 mL	
BALDE ESQUERDO (mL)	
5,7	
Dif.: 5ª Exp. - 79,8 mL	
BALDE DIREITO (mL)	
2,5	

Tabela 07 – Previsão de giros nos parafusos para a 6ª Experiência

BALDE ESQUERDO/PARAFUSO DIREITO	
11,17 mL	360 °
5,70 mL	X
	183,76 °
Aplicação da lei dos Cossenos e Senos => 3,76 °	
BALDE DIREITO/PARAFUSO ESQUERDO	
11,17 mL	360 °
2,50 mL	X
	80,60 °
Aplicação da lei dos Cossenos e Senos => 9,40 °	

Como o ângulo de rotação para o parafuso direito (balde esquerdo), tinha previsão de giro de **183,76°**, foi efetuada uma elevação no parafuso de **180°** e aplicado a lei dos Cossenos e Senos para rotaciona-lo em **3,76°** (Tabelas 08) (Figura 05). Procedimento análogo foi feito para o parafuso esquerdo (balde direito), soque elevando o mesmo em 90° o rebaixando em 9,40° (Tabelas 09) (Figura 06).

Tabela: 08 – Deslocamento da chave no parafuso direito (mm)

BALDE ESQUERDO → ÂNGULO DE ROTAÇÃO (α_5) NO PARAFUSO DIREITO		
(Sentido Horário - Elevação do Parafuso) / (Lei dos Senos)		
$\theta_5 = 180 - \beta - \alpha_5 \rightarrow 134,22^\circ$	$\text{sen}\theta_5 \rightarrow 0,72$	$\text{sen}\alpha_5 \rightarrow 0,07$
$Y_5 \rightarrow Y_5 / \text{sen } \alpha_5 = b / \text{sen}\theta_5 \rightarrow Y_5 = (b) (\text{sen}\alpha_5) / \text{sen}\theta_5 \rightarrow$		$Y_5 = 3,97 \text{ mm}$

Tabela 09 – Deslocamento da chave no parafuso esquerdo (mm)

BALDE DIREITO → ÂNGULO DE ROTAÇÃO (α_6) NO PARAFUSO ESQUERDO		
(Sentido Horário - Rebaixamento do Parafuso) / (Lei dos Senos)		
$\theta_6 = 180 - \beta - \alpha_6 \rightarrow 128,58^\circ$	$\text{sen}\theta_6 \rightarrow 0,78$	$\text{sen}\alpha_6 \rightarrow 0,16$
$Y_6 \rightarrow Y_6 / \text{sen } \alpha_6 = b / \text{sen}\theta_6 \rightarrow Y_6 = (b) (\text{sen}\alpha_6) / \text{sen}\theta_6 \rightarrow$		$Y_6 = 9,07 \text{ mm}$

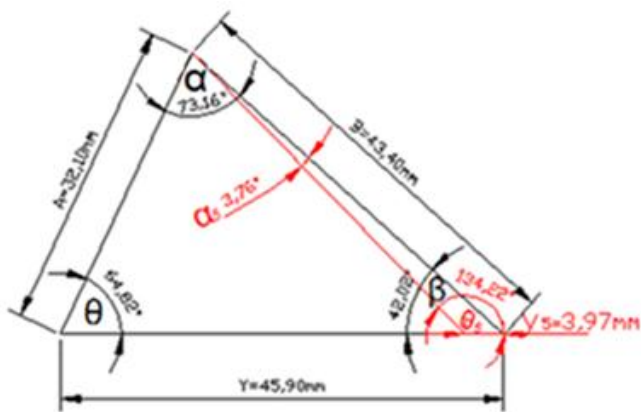


Figura 05 – Giro no parafuso direito (Tabela 08)

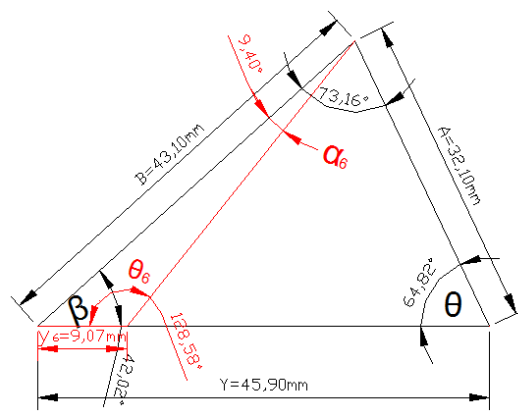


Figura 06 – Giro no parafuso esquerdo (Tabela 09)

Pela Tabela 10, observa-se que os percentuais de erros estão bem abaixo de 5%. ($-0,9\% < 5\%$) ($-0,6\% < 5\%$).

Tabela 10 – Resumo da 6ª Experiência

FLUXO EM GOTEJAMENTO		
Basculamento	B. Esq. (mL)	B. Dir. (mL)
10	79,1	
10		79,3
Diferença entre volumes		-0,2
Giros	3,97 mm (Paraf. Dir.)	9,07 mm (Paraf. Esq.)
Pipeta	25,00 mL	
10 Basculam.	79,80 mL	
Dif.: 6ª – 10 Basc.		
B. Esq. (mL)	B. Dir. (mL)	
-0,7	-0,5	
Incerteza de medições (%)		
B. Esq. (%)	B. Dir. (%)	
-0,9 ≤ 5%	-0,6 ≤ 5%	

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de pipeta é um processo que, além de um pouco demorado, requer certa prática no seu manuseio, sobretudo no processo de sucção e ejeção da água, na aniquilação das bolhas e determinação do volume.

Portanto é aconselhável a utilização de uma **balança de precisão** pela melhor informação nas medições como também na agilidade em se obter resposta.

Tendo em vista a influência que a temperatura exerce sobre a massa específica da água e conseqüentemente no volume do líquido, aconselha-se manter pelo menos um termômetro dentro do reservatório superior durante as medições, anotando-se a temperatura no início das medições e no final, determinando-se desta forma, a média da mesma e através de tabelas existentes, definir a massa específica correspondente, calculando-se desta forma o volume.

A variação na velocidade do vento no campo pode afetar a direção de precipitação do fluxo da água que incide sobre os baldes da balança, sobretudo quando se tratar do **fluxo em gotejamento**. Este problema pode ser solucionado com a colocação de uma proteção contra o vento durante a calibração, através de um anteparo com formato cilíndrico, dotado de diâmetro compatível com a largura do pluviômetro e altura de aproximadamente 30 cm.

Apesar da telemetria ter as suas facilidades, pois, são os dados que vem ao encontro do usuário em tempo real e em seu ambiente de trabalho, é recomendável uma visita “**in loco**” pelo menos uma vez ao ano e se por alguma razão houver necessidade, fazer a mesma a cada semestre, a fim de se efetuar uma manutenção (preventiva ou corretiva) adequada, como também uma verificação (aferição) e se o caso requerer, um ajuste/calibração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_Salgueiro, João Hipólito Paiva de Brito. Avaliação de rede pluviométrica e análise de variabilidade espacial da precipitação: Estudo do Caso na bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco, 2005. Dissertação de mestrado, PPGEC, UFPE.

_Silva Filho, Severino Lopes da - Metodologia de calibração de pluviômetros de balança com uso de uma bancada de campo, 2014. Dissertação de mestrado, PPGEC, UFPE

_Dante, Luiz Roberto. Matemática (Conceito & Aplicações) 2001 – Editora: Ática – Pag.: 255 e Pag.: 251

–