



Precipitação medida com pluviômetros alternativos na região de Curitiba (PR)

Precipitation measured with alternative rain gauges in the region of Curitiba, Paraná, Brazil

Jorge Luiz Moretti de Souza^[a], Rossana Ferrari Schäfer^[b], Herbert Schäfer^[c], Daniela Jerszurki^[d]

^[a] Engenheiro agrícola, doutor em Agronomia, professor associado da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR – Brasil, e-mail: jmoretti@ufpr.br

^[b] Bióloga, mestre em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR – Brasil, e-mail: rossana@deutschkomp.com.br

^[c] Analista de sistemas, mestre em Informática, professor adjunto da Universidade Tuiuti do Paraná (UTP), Curitiba, PR – Brasil, e-mail: herbert@deutschkomp.com.br

^[d] Engenheira-agrônoma, doutoranda em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR – Brasil, e-mail: djerszurki@ufpr.br

Resumo

O presente estudo teve por objetivo avaliar as características funcionais e os valores de precipitação medidos com oito modelos de pluviômetros alternativos em relação aos valores medidos com um pluviômetro tipo *Ville de Paris* (padrão), visando à obtenção de um pluviômetro funcional de baixo custo. O experimento foi realizado no Campus do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba (PR), entre julho de 2008 e janeiro de 2009. As medidas de precipitação diária foram analisadas estatisticamente considerando coeficientes de correlação linear (R), desvio por intervalo de classe de precipitação e índices de concordância e confiança. Verificou-se que o pluviômetro constituído de uma garrafa PET de água mineral de 1,5 L contendo um funil interno feito a partir de outra garrafa de mesma marca e volume mostrou-se mais adequado para realizar medidas de precipitação na falta de um pluviômetro padrão (*Ville de Paris*).

Palavras-chave: Chuva. *Ville de Paris*. Garrafa PET. Baixo custo.

Abstract

The present study aimed at evaluating the functional characteristics and the measured values of precipitation of eight alternative rain gauges, based on the values measured with a standard rain gauge (Ville de Paris), trying to identify a functional and low cost rain gauge. The experiment it was conducted between July 2008 and January 2009 in the Campus of Agricultural Sciences of the Federal University of Paraná (UFPR) in Curitiba, Brazil. The daily precipitation values were statistically analyzed considering linear correlation coefficients (R), deviation by class interval of precipitation and indices of agreement and trust. It was concluded that the most appropriate rain gauge consisted of a 1.5 L mineral water PET bottle containing an internal funnel made from another bottle (same brand and volume). Such rain gauge was more efficient, both statistically and operationally, to perform alternative measures of precipitation in the impossibility of having a standard rain gauge like Ville de Paris.

Keywords: Rain. Ville de Paris. PET bottle. Low cost.

Introdução

A utilização de pluviômetros alternativos de plástico (comerciais) ou construídos a partir de material reciclável para medir a precipitação pluviométrica em um determinado local é muito comum, devido ao custo de aquisição de um pluviômetro padrão. Na literatura, inúmeros são os exemplos de trabalhos que já utilizaram ou utilizam algum tipo de pluviômetro alternativo (SCHÄFER, 2009), principalmente quando o número de equipamentos necessário para a atividade desenvolvida é elevado. Entretanto, as leituras registradas nesses equipamentos nem sempre são confiáveis (SEIBERT; MORÉN, 1999; CONCEIÇÃO; ZANETONI, 2007), podendo apresentar erros que comprometem o monitoramento, manejo ou planejamento da atividade de interesse (plantio, irrigação, experimentos, práticas didáticas, controle de enchentes, entre outros).

A literatura não apresenta muitos exemplos de trabalhos consistentes envolvendo a avaliação de pluviômetros alternativos. Conceição e Zanetoni (2007) avaliaram dois tipos de pluviômetro plástico comercial. Thomaz (2005) e Faria et al. (2005) avaliaram modelos de pluviômetro alternativo feitos de garrafa PET e tubo de PVC, respectivamente. Sentelhas e Caramori (2002) avaliaram medidas de chuvas diárias com pluviômetros convencionais e báscula possuindo diferentes resoluções e áreas de captação. Quando o pluviômetro não é o objetivo principal da pesquisa, mas apenas um instrumento utilizado, diferentes modelos "alternativos"

de pluviômetro encontram-se descritos na literatura apenas em seus principais aspectos construtivos, sem a preocupação de determinar a sua eficiência e restrição (CAMERON, 2007; DUARTE; CUNHA; LIMA, 2006; LINS; BREUCKMANN, 2001; LOPES et al., 2003; OLIVEIRA et al., 2008; PARK; CAMERON, 2008; WARDLE; MARK, 1956).

Apesar dos trabalhos já realizados com a finalidade de desenvolver, testar ou apenas utilizar pluviômetros alternativos, verifica-se na literatura que não existe uma proposição ou avaliação consistente e bem definida em relação aos aspectos construtivos dos pluviômetros alternativos funcionais. É importante observar que a proposição de pluviômetros alternativos deve ser acompanhada de avaliações quanto à capacidade de medição, precisão e exatidão. Além disso, limitações e possibilidades de erros devem ser bem quantificadas para que os equipamentos possam ser utilizados em pesquisas e/ou atividades técnicas, principalmente quando é grande o número de equipamentos a serem utilizados na área experimental, como nos trabalhos de Cameron (2007), Duarte et al. (2006), Oliveira et al. (2008), Park e Cameron (2008) e Thomaz (2005).

O presente estudo teve por objetivo avaliar as características funcionais e valores de precipitação medidos com pluviômetros alternativos em relação aos valores medidos com o pluviômetro *Ville de Paris* (padrão), em Curitiba (PR), visando à obtenção de um pluviômetro funcional de baixo custo, considerando-se na mensuração parâmetros como

altura da instalação, área de captação, processo de leitura e proteção contra evaporação.

Materiais e métodos

O trabalho foi conduzido em uma área experimental do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em Curitiba (PR). O local tem relevo levemente ondulado e altitude média de 934,6 m, com pluviosidade aproximada de 1500 mm ano⁻¹. Segundo a classificação de Wladimir Köppen, o clima do município de Curitiba classifica-se como Cfb (Clima subtropical úmido mesotérmico), com verões frescos e ocorrência de geadas severas e frequentes, não apresentando estação seca. A média das temperaturas dos meses mais quentes é inferior a 22 °C e a dos meses mais frios é inferior a 18 °C (MAACK, 2002).

Os pluviômetros foram instalados nas coordenadas 25° 24' 47" de latitude Sul e 49° 14' 59" de

longitude Oeste. A análise dos dados foi realizada no Laboratório de Modelagem de Sistemas Agrícolas (LAMOSA/DSEA/SCA/UFPR). O pluviômetro do tipo *Ville de Paris* foi utilizado como instrumento padrão para a medida da precipitação. As leituras obtidas com esse instrumento foram comparadas com as medidas das precipitações pluviométricas realizadas com outros sete pluviômetros propostos, denominados alternativos, construídos a partir da reciclagem de garrafas PET (politereftalato de etila) de água mineral de mesma marca comercial e material, mais um pluviômetro modelo comercial (Tabela 1).

À exceção do pluviômetro instalado sobre a superfície do solo, todos os demais pluviômetros utilizados foram dispostos na altura de 1,5 m a partir da superfície do solo, fixados em uma barra de ferro, contendo encaixes construídos de latão rebitado (Figura 1), no tamanho e formato exatos de cada pluviômetro, para assegurar que intempéries e quaisquer oscilações provocadas pela ação do vento não prejudicassem as medidas de precipitação.

Tabela 1 - Área de captação, altura de instalação, características construtivas e capacidade de registro dos pluviômetros utilizados (padrão e alternativos)

Modelo do pluviômetro	Área de captação	Altura em relação ao solo	Características construtivas	Capacidade de registro - "lâmina"
	(cm ²)	(m)		(mm)
<i>Ville de Paris</i>	400,0	1,5	Pluviômetro comercial padrão, com capacidade de 7,0 L (útil: 5,25 L; medido com o nível da água no início do bico do funil)	131,3
Alternativo 1	283,5	Superfície	Capacidade de 2,0 L. Garrafa PET disposto rente à superfície do solo, contendo um funil plástico circular logo acima	70,5
Alternativo 2	63,9	1,5	Capacidade de 1,5 L (útil: 0,7 L; 18,0 cm de altura da tampa do recipiente até o nível da água)	109,6
Alternativo 3	231,5	1,5	Capacidade de 5,0 L (útil: 3,5 L; 21 cm de altura da tampa do recipiente até o nível da água)	151,2
Alternativo 4	34,6	1,5	Capacidade de 0,5 L (útil: 0,3 L; 14 cm de altura da tampa do recipiente até o nível da água)	86,7
Alternativo 5	61,1	1,5	Capacidade de 1,5 L, contendo uma mangueira de plástico para fazer o processo de drenagem do volume de água coletado (útil: 0,7 L; 18,0 cm de altura da tampa do recipiente até o nível da água)	114,6
Alternativo 6	62,1	1,5	Capacidade de 1,5 L, contendo um funil interno feito a partir de outra garrafa PET de mesma marca e volume, inserida uma dentro da outra (útil: 0,7 L; 18,5 cm de altura da tampa do recipiente até o nível da água)	112,7
Alternativo 7	64,1	1,5	Capacidade de 1,5 L, contendo pintura interna e externa com tinta acrílica própria para uso em plásticos (útil: 0,7 L, 18,0 cm de altura da tampa do recipiente até o nível da água)	109,2
Alternativo 8	5,7	1,5	Pluviômetro comercial, capacidade de 0,25 L, confeccionado em corpo único de plástico cristal e OS	150,0

Fonte: Dados da pesquisa.

A distância entre os pluviômetros foi de 2 m, para evitar possíveis interferências pela proximidade ou aumento da variabilidade nas leituras devido à distância (REICHARDT et al., 1995; SILVA et al., 2006).



Figura 1 - Estrutura de sustentação dos pluviômetros, fixados em uma barra de ferro, a 1,5 m de altura da superfície do solo, contendo encaixes de latão rebitado; detalhe do pluviômetro alternativo 6, construído a partir de uma garrafa PET de 1,5 L e contendo um funil interno feito a partir de outra garrafa de mesma marca e volume

Fonte: Dados da pesquisa.

Para a determinação da área de captação, após o corte transversal, cada garrafa utilizada na confecção dos pluviômetros alternativos foi “escaneada” ao lado de uma folha de papel milimetrado e as quadrículas foram contadas manualmente em seguida. Cada quadrícula tinha 1 mm² de área.

A coleta dos dados de precipitação pluviométrica foi realizada nos dias com ocorrência de evento de chuva, às 9:00 da manhã, no período

compreendido entre 16 de julho de 2008 e 15 de janeiro de 2009. A altura precipitada para os pluviômetros 1 a 7 foi calculada com a Equação 1. Para reduzir erros, o volume de água coletado nestes pluviômetros foi medido utilizando a mesma proveta graduada de 250 cm³. Os pluviômetros Alternativos 1, 2, 3, 4, 6 e 7 tinham de ser removidos do seu respectivo suporte para possibilitar a disposição do volume precipitado dentro da proveta. A leitura do pluviômetro Alternativo 8 (comercial) foi realizada no corpo do instrumento, que tem sua escala variado de 5 mm a 150 mm, com precisão de 2 mm.

$$P_i = 10 \cdot \frac{V_i}{A} \quad (1)$$

P_i – altura da precipitação no i -ésimo dia (mm dia⁻¹)

V_i – volume de água captada no pluviômetro considerado no i -ésimo dia (cm³ dia⁻¹)

A – área de captação do pluviômetro considerado (cm²)

A análise dos resultados se baseou no ajustamento de equações de regressão linear aos dados observados e na correlação das equações ajustadas (R). Foram realizadas análises contrastando a precipitação medida em um pluviômetro *Ville de Paris* versus a medida com os pluviômetros alternativos, avaliando: (a) área de captação e altura do pluviômetro em relação ao solo; (b) alteração na área de captação da precipitação pluviométrica; (c) método de retirada do líquido armazenado do pluviômetro; (d) influência de um funil interno quanto às perdas por evaporação; (e) transparência e rugosidade da superfície do pluviômetro, contendo pintura interna e externa com tinta acrílica própria para uso em plásticos; e (f) utilização de um produto comercial existente.

A exatidão entre os valores de precipitação pluviométrica medida com o pluviômetro tipo *Ville de Paris* e alternativos foi avaliada com o índice “d” de concordância de Willmott et al. (1985). Adotou-se também o índice “c” de Camargo e Sentelhas (1997), que serve como indicador de desempenho dos métodos alternativos, considerando: $c > 0,85$ = ótimo; $0,76 \leq c \leq 0,85$ = muito bom; $0,66 \leq c \leq 0,75$ = bom; $0,61 \leq c \leq 0,65$ = mediano; $0,51 \leq c \leq 0,60$ = sofrível; $0,41 \leq c \leq 0,50$ = mau e $c \leq 0,40$ = péssimo.

As precipitações medidas nos pluviômetros testados, também foram agrupadas em intervalos de classe ($P \leq 10 \text{ mm dia}^{-1}$; $10 \text{ mm dia}^{-1} < P \leq 20 \text{ mm dia}^{-1}$; $20 \text{ mm dia}^{-1} < P \leq 30 \text{ mm dia}^{-1}$; $30 \text{ mm dia}^{-1} < P \leq 40 \text{ mm dia}^{-1}$; $P > 40 \text{ mm dia}^{-1}$). Tal procedimento visou verificar a influência da altura, do número de precipitações e das características construtivas dos pluviômetros no desvio (erro) existente entre as leituras obtidas com o pluviômetro *Ville de Paris* e Alternativos ao longo do período de 16 de julho de 2008 a 15 de janeiro de 2009.

Resultados e discussão

As medidas realizadas com os pluviômetros Alternativos 1 a 8 mostraram estreita correlação com as medidas realizadas no *Ville de Paris*. Na Tabela 2, é possível verificar que o maior valor de coeficiente de correlação ocorreu para o pluviômetro Alternativo 6 ($R = 0,9985$) e o menor para o Alternativo 1 ($R = 0,9690$), evidenciando que os pontos estão muito próximos da reta de regressão linear em todas as análises realizadas. Na Figura 2, encontram-se os diagramas de dispersão ($P_{\text{Ville de Paris}} \text{ vs } P_{\text{Alternativo}}$) dos pluviômetros que obtiveram o maior e menor índice “c” de desempenho, e o pluviômetro que obteve o menor índice “d” de concordância.

Thomaz (2005), estudando a precipitação e interceptação ocorrida na capoeira e floresta secundária em Guarapuava (PR), avaliou a possibilidade

de utilizar pluviômetros alternativos constituídos de garrafas plásticas do tipo PET com área média de 95 cm^2 . Em 42 eventos de precipitação, os resultados obtidos também indicaram estreita correlação ($R = 0,97$) entre os dados registrados no coletor PET e no pluviômetro estabelecido como padrão (Pluviômetro Hellmann). Com esses resultados, o autor considerou que os coletores alternativos não resultariam em comprometimento dos dados a serem coletados na capoeira e floresta secundária. No entanto, é interessante observar que o autor não realizou nenhum tipo de avaliação quanto ao manuseio, exatidão, desempenho e desvio por classe de precipitação das medidas de seus pluviômetros.

As retas de regressão linear ajustadas aos dados de precipitação medida pelos pluviômetros Alternativos 2 a 7 também aproximaram-se consideravelmente da linha de 45° (Tabela 2 e Figura 2), evidenciando que, em média, possuem concordância em relação ao pluviômetro padrão. O maior índice “d” encontrado foi para o pluviômetro Alternativo 6 (“d” = 0,9993) e o menor ocorreu para o Alternativo 1 (“d” = 0,9833).

Considerando o índice “c” de desempenho (Tabela 2) e seguindo a escala de Camargo e Sentelhas (1997), verificou-se que os pluviômetros Alternativos 1 a 8 apresentaram desempenho “ótimo”, variando entre 0,9528 (Alternativo 1) e 0,9978 (Alternativo 6). Os pluviômetros Alternativos 1 e 8 obtiveram valores de desempenho (índice “c”) menor que os demais pluviômetros alternativos

Tabela 2 - Coeficientes angular (m) e linear (b) da reta de regressão linear, coeficientes de determinação (R^2) e correlação (R), índices “d” de Willmott et al. (1985) e “c” de Camargo e Sentelhas (1997), determinados nas análises, contrastando os valores de precipitação medida com o pluviômetro padrão (*Ville de Paris*) e medida com os pluviômetros alternativos

Análise	Valor m	Valor b	R^2	R	Índice “d”	----- Índice “c” -----	
						Valor	Desempenho
$P_{\text{Ville de Paris}} \text{ vs } P_{\text{Alternativo 1}}$	0,9830	1,115	0,9390	0,9690	0,9833	0,9528	Ótimo
$P_{\text{Ville de Paris}} \text{ vs } P_{\text{Alternativo 2}}$	1,0190	0,465	0,9910	0,9955	0,9970	0,9925	Ótimo
$P_{\text{Ville de Paris}} \text{ vs } P_{\text{Alternativo 3}}$	0,9950	0,614	0,9930	0,9965	0,9981	0,9946	Ótimo
$P_{\text{Ville de Paris}} \text{ vs } P_{\text{Alternativo 4}}$	0,9890	0,498	0,9900	0,9950	0,9975	0,9925	Ótimo
$P_{\text{Ville de Paris}} \text{ vs } P_{\text{Alternativo 5}}$	0,9600	1,046	0,9900	0,9950	0,9971	0,9921	Ótimo
$P_{\text{Ville de Paris}} \text{ vs } P_{\text{Alternativo 6}}$	0,9890	0,031	0,9970	0,9985	0,9993	0,9978	Ótimo
$P_{\text{Ville de Paris}} \text{ vs } P_{\text{Alternativo 7}}$	1,0200	0,405	0,9910	0,9955	0,9969	0,9924	Ótimo
$P_{\text{Ville de Paris}} \text{ vs } P_{\text{Alternativo 8}}$	0,8890	0,140	0,9920	0,9960	0,9917	0,9877	Ótimo

Fonte: Dados da pesquisa.

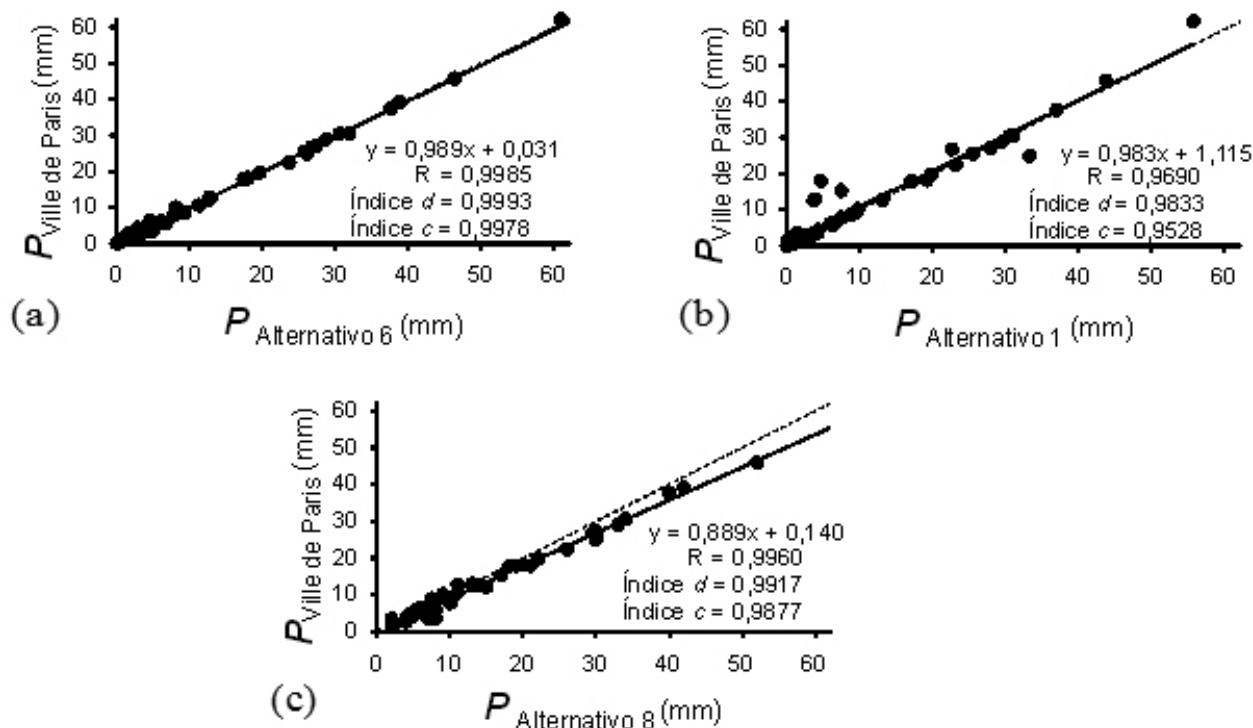


Figura 2 - Regressão linear e seu respectivo coeficiente de correlação (R), índices “d” de Willmott et al. (1985) e “c” de Camargo e Sentelhas (1997), resultante das análises entre os valores de precipitação diária medidos com o pluviômetro padrão (*Ville de Paris*) e Alternativos, sendo: (a) Alternativo 6 – maior valor de desempenho (índice “c”) obtido; (b) Alternativo 1 – menor valor de desempenho (índice “c”) e menor índice “d” de concordância obtido; e (c) Alternativo 8 – segundo menor índice “d” de concordância obtido nas análises

Fonte: Dados da pesquisa.

testados. O resultado obtido pelo pluviômetro Alternativo 1 deveu-se à correlação ($R = 0,9690$) e concordância (“d” = 0,9833), enquanto o pluviômetro 8 deveu-se à concordância (“d” = 0,9917).

Os coeficientes e índices estatísticos (R, “d” e “c”) apresentados anteriormente indicaram existência de correlação, concordância e “ótimo” desempenho dos pluviômetros alternativos testados. Contudo, os resultados obtidos não podem ser considerados conclusivos, e aspectos como o acúmulo dos pequenos desvios de leitura ocorridos ao longo do tempo, bem como características de manuseio e construção dos pluviômetros, também devem ser consideradas para possibilitar melhor avaliação. Nesse sentido, a Tabela 3 apresenta a lâmina de precipitação pluviométrica medida nos pluviômetros testados por intervalos de classe.

Como era de se esperar, o número de leituras de precipitação por intervalo de classe reduziu à medida que a lâmina precipitada em um dia aumentou

(Tabela 3). Assim, o intervalo de classe $P_{\text{Ville de Paris}} \leq 10 \text{ mm dia}^{-1}$ conteve 55,6% do total de leituras do período entre 16/07/2008 e 15/01/2009. O intervalo $P_{\text{Ville de Paris}} > 40 \text{ mm dia}^{-1}$ conteve apenas 5,6% das precipitações diárias do período. Porém, é interessante observar que a lâmina precipitada em cada intervalo de classe não foi tão variável, ficando entre 16,8% e 20,5% da lâmina total (759,1 mm período⁻¹) medida no período, para o pluviômetro *Ville de Paris*.

De forma geral, em relação ao desvio (total e entre classes) verificado no período entre 16/07/2008 e 15/01/2009 (Tabela 3), o pluviômetro Alternativo 6 apresentou os melhores resultados (6 mm período⁻¹ ou 0,8%) em relação ao pluviômetro padrão. Os pluviômetros Alternativos 2 a 5 e 7 tiveram resultados similares entre eles, apresentando desvios totais variando entre -19 mm período⁻¹ (Alternativo 4) e -39,2 mm período⁻¹ (Alternativo 2). Os pluviômetros 1 (-43,0 mm

Tabela 3 - Precipitação pluviométrica coletada nos pluviômetros *Ville de Paris* e Alternativos (1 a 8), por intervalo de classe, desvio (erro) entre as leituras dos pluviômetros padrão e alternativa e número de leituras consideradas em cada classe

Parâmetro	<i>Ville de Paris</i>	Pluviômetros Alternativos							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Intervalo: $P_{\text{Ville de Paris}} \leq 10 \text{ mm dia}^{-1}$ (período entre 16/07/2008 e 15/01/2009)									
Precipitação (mm)	127,8	103,4	117,7	116,4	118,6	102,5	128,2	119,3	136,8
Desvio (mm)	–	-1,9	-10,0	-11,4	-9,1	-25,3	0,5	-8,5	15,6
Desvio (%)	–	-1,8	-7,9	-8,9	-7,1	-19,8	0,4	-6,6	12,9
Leituras	30	27	30	30	30	30	30	30	24
Intervalo: $10 \text{ mm dia}^{-1} < P_{\text{Ville de Paris}} \leq 20 \text{ mm dia}^{-1}$ (período entre 16/07/2008 e 15/01/2009)									
Precipitação (mm)	167,7	105,8	154,6	154,0	159,5	162,7	152,5	154,5	181,0
Desvio (mm)	–	-39,0	-13,1	-13,6	-8,1	-4,9	0,1	-13,2	13,4
Desvio (%)	–	-26,9	-7,8	-8,1	-4,8	-2,9	0,1	-7,8	8,0
Leituras	11	9	11	11	11	11	10	11	11
Intervalo: $20 \text{ mm dia}^{-1} < P_{\text{Ville de Paris}} \leq 30 \text{ mm dia}^{-1}$ (período entre 16/07/2008 e 15/01/2009)									
Precipitação (mm)	155,6	162,2	145,3	151,2	151,4	153,1	158,3	147,3	178,5
Desvio (mm)	–	6,5	-10,3	-4,4	-4,2	-2,5	2,7	-8,3	22,9
Desvio (%)	–	4,2	-6,6	-2,8	-2,7	-1,6	1,7	-5,3	14,7
Leituras	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Intervalo: $30 \text{ mm dia}^{-1} < P_{\text{Ville de Paris}} \leq 40 \text{ mm dia}^{-1}$ (período entre 16/07/2008 e 15/01/2009)									
Precipitação (mm)	137,8	98,7	136,4	139,1	141,3	108,6	139,0	134,2	150,0
Desvio (mm)	–	0,0	-1,5	1,3	3,5	1,4	1,2	-3,6	12,2
Desvio (%)	–	0,0	-1,1	0,9	2,5	1,3	0,8	-2,6	8,8
Leituras	4	3	4	4	4	3	4	4	4
Intervalo: $P_{\text{Ville de Paris}} > 40 \text{ mm dia}^{-1}$ (período entre 16/07/2008 e 15/01/2009)									
Precipitação (mm)	170,2	99,5	166,0	168,4	106,9	173,6	171,8	106,3	192,0
Desvio (mm)	–	-8,5	-4,2	-1,9	-1,1	3,4	1,6	-1,7	21,8
Desvio (%)	–	-7,9	-2,5	-1,1	-1,0	2,0	0,9	-1,6	12,8
Leituras	3	2	3	3	2	3	3	2	3
Precipitação ocorrida no período entre 16/07/2008 e 15/01/2009									
Precipitação (mm)	759,1	569,5	720,0	729,0	677,9	700,6	749,9	661,6	838,3
Desvio (mm)	–	-43,0	-39,2	-30,1	-19,0	-28,0	6,0	-35,3	85,8
Desvio (%)	–	-7,0	-5,2	-4,0	-2,7	-3,8	0,8	-5,1	11,4
Leituras	54	47	54	54	53	53	53	53	48

Fonte: Dados da pesquisa.

período⁻¹) e 8 (85,8 mm período⁻¹) obtiveram os maiores desvios (erro). Com exceção dos pluviômetros Alternativos 6 e 8, os demais pluviômetros geralmente subestimaram as precipitações agrupadas em intervalos de classe em relação ao pluviômetro *Ville de Paris*.

O pluviômetro Alternativo 6 apresentou valores muito próximos aos encontrados no *Ville de Paris*. O menor desvio foi de 0,1 mm período⁻¹ (0,1% de

erro), na classe $30 \text{ mm dia}^{-1} < P \leq 40 \text{ mm dia}^{-1}$, e o maior desvio foi de 2,7 mm período⁻¹ (1,7% de erro), na classe $20 \text{ mm dia}^{-1} < P \leq 40 \text{ mm dia}^{-1}$ (Tabela 3). Ao longo de seis meses o desvio total foi de apenas 6 mm período⁻¹ (0,8% de erro) e, desta forma, conforme será analisado posteriormente, considerou-se que a presença do funil interno realmente foi importante para atenuar a evaporação da água precipitada que ficava armazenada ao longo do dia

dentro do pluviômetro, assegurando menores desvios de leitura em relação ao pluviômetro *Ville de Paris*. As leituras foram realizadas apenas uma vez por dia, às 9:00 da manhã, nos dias com evento de chuva. O pequeno desvio positivo pode ter ocorrido devido ao material dos pluviômetros, sendo que o plástico da garrafa PET possui menor condutividade que a chapa de aço do pluviômetro *Ville de Paris*, o que pode ter proporcionado menor evaporação no pluviômetro Alternativo 6.

No entanto, é importante observar que uma análise comparativa entre os totais mensais de precipitação registrados nos pluviômetros *Ville de Paris* e DNAEE foi realizada por Castilho (2005), visando verificar a existência de perda por evaporação no pluviômetro *Ville de Paris*. Os aparelhos funcionaram simultaneamente ao longo de dez anos em uma mesma estação, localizada na região central do estado de Minas Gerais. O autor não verificou diferenças significativas entre os valores de precipitação coletados pelos dois aparelhos.

O pluviômetro Alternativo 1 também continua um funil e, de forma geral, subestimou as medidas, apresentando o segundo maior desvio (-43 mm período⁻¹ ou -7,0%) entre os pluviômetros testados (Tabela 3). No entanto, este pluviômetro ficou instalado próximo à superfície do solo, o que a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2008) considera que pode alterar os valores das leituras. A ação do vento e do escoamento horizontal das águas precipitadas também proporcionou maior esforço mecânico sobre o funil e pluviômetro, alterando seu posicionamento (inclinação) e área de captação. Apesar de ser um fator verificado em todos os pluviômetros testados, a presença de insetos no pluviômetro Alternativo 1 foi maior do que nos demais, principalmente nas estações da primavera e do verão. Em períodos de chuva diária com maior duração, verificou-se perda da leitura por sete vezes (13% das leituras), tendo como motivo volumes de água superiores a 1500 ml, com o nível da água atingindo a área do funil, ou água entrando na cavidade onde o pluviômetro se encontrava instalado, virando o recipiente de coleta.

Os resultados apresentados na Tabela 3 para o pluviômetro Alternativo 1 são interessantes, pois verifica-se na literatura trabalhos que utilizaram pluviômetros em condições similares (CAMERON,

2007; OLIVEIRA et al., 2008; WARDLE; MARK, 1956).

Os pluviômetros Alternativos 2, 3, 4 e 7, apesar de possuírem características construtivas diferenciadas, tais como área de captação, volume interno no recipiente e pintura interna e externa das paredes alterando a transparência e rugosidade da superfície, apresentaram valores muito similares quanto aos desvios obtidos em relação ao pluviômetro *Ville de Paris*. Os pluviômetros Alternativos 2 e 7, que diferiram basicamente apenas na pintura interna e externa das paredes, apresentaram resultados muito próximos (Tabela 3), indicando que a alteração na transparência e rugosidade da superfície do pluviômetro com tinta não propiciou a obtenção de melhores resultados.

O pluviômetro Alternativo 5, principalmente no intervalo de classe que apresenta maior número de leituras ($P \leq 10$ mm dia⁻¹, entre 16/07/2008 e 15/01/2009), apresentou desvio muito diferente (-25,3 mm período⁻¹ ou -19,8%) do verificado nos pluviômetros Alternativos 2, 3, 4 e 7, e em relação ao pluviômetro *Ville de Paris*. Neste pluviômetro, o procedimento de retirada do volume de água foi feito com o auxílio de uma mangueira contendo torneira, que, a princípio, dificultou e aumentou consideravelmente o tempo necessário para se realizar as leituras. Essa característica construtiva, provavelmente, induziu imprecisão devido à ocorrência de erros de leitura, adesão e contenção de parte da água precipitada dentro da mangueira e vazamento, entre outros. Todas as vezes em que o volume de água coletado foi maior que o volume da proveta utilizada (250 ml) para a coleta, foi necessário fechar a torneira da mangueira com uma das mãos e segurar a proveta com a outra, dificultando o seu manuseio. Em diversas ocasiões, ocorreram também acúmulos de sujeira no interior da mangueira e entupimentos.

Entre todos os pluviômetros testados, o Alternativo 4 foi o que apresentou maiores facilidades operacionais, devido a seu pequeno tamanho (garrafa de 0,5 L) e área de captação (34,6 cm²). No entanto, é importante considerar que esse pluviômetro tem limitação quanto a sua capacidade, conseguindo armazenar altura de precipitação inferior a 86,7 mm dia⁻¹, 34% inferior à capacidade do pluviômetro *Ville de Paris* (131,3 mm dia⁻¹ - Tabela 1).

Apesar de ser maior que o pluviômetro Alternativo 4 (0,5 L), os pluviômetros alternativos constituídos

de garrafas PET de água mineral de 1,5 L também podem ser considerados pequenos. Dentre os pluviômetros constituídos de garrafas de 1,5 L testados (Alternativos 2, 5, 6 e 7) verificou-se que a capacidade dos mesmos ficou apenas 16,5%, 12,7%, 14,2% e 16,8% menor, respectivamente, que o pluviômetro *Ville de Paris* (131,3 mm dia⁻¹). Dessa forma, os pluviômetros de 1,5 L testados não estariam propensos a perdas de leitura devido a precipitações diárias mais intensas, de longo período de retorno, superiores a 110 mm dia⁻¹. Além disso, as garrafas PET de 1,5 L ainda permanecem com as características de facilidade operacional e construtiva e baixo custo para construção dos pluviômetros alternativos.

Quanto ao tamanho da área de captação do pluviômetro, observou-se que a sua variação (5,7 cm², 34,6 cm², 61,1 cm², 62,1 cm², 63,9 cm², 64,1 cm², 231,5 cm², 283,5 cm²) não afetou de modo significativo a sua precisão, em relação ao pluviômetro *Ville de Paris*, devido aos altos valores de R obtidos (Tabela 2). A Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2008) sugere que a área de captação dos pluviômetros se situe entre 200 cm² e 500 cm², principalmente se formas sólidas de precipitação forem esperadas em quantidade significativa. Como a região de Curitiba raramente apresenta formas sólidas de precipitação, verificou-se que áreas de captação superiores a 5,7 cm² (Alternativo 8) não prejudicaram as leituras diárias das precipitações na região. Os resultados obtidos são interessantes, pois o manuseio do pluviômetro Alternativo 3 (PET de 5,0 L), cuja área é de 231,5 cm², foi mais difícil devido a seu tamanho e material plástico muito flexível. Estas dificuldades não foram verificadas nos pluviômetros alternativos constituídos com garrafas PET de 0,5 L (Alternativo 4) e 1,5 L (Alternativos 2, 5, 6 e 7).

Apesar de não ter sido testado em todos os modelos de pluviômetro alternativo, acredita-se que a disposição do funil, conforme realizado no pluviômetro Alternativo 6 (Figura 1), é algo que realmente deve ser considerado. Sua utilização pode ser mais importante principalmente em locais quentes com características climáticas diferentes das apresentadas na região de Curitiba, que propiciem maior evaporação da precipitação coletada pelo pluviômetro. O funil interno, ao contrário da variação da área, altura, método de retirada do líquido e alteração na transparência e rugosidade, possibilitou a obtenção de leituras

muito próximas das observadas no pluviômetro *Ville de Paris*. Além disso, verificou-se também que a presença do funil interno, um pouco abaixo da borda, melhorou a sustentação do pluviômetro, não dificultou a realização das leituras e permitiu menor variação da área de captação por deformação ao longo do tempo devido à exposição climática do material.

O pluviômetro Alternativo 8 (comercial), dentre todos os modelos testados, foi o que apresentou maior desvio: 85,8 mm período⁻¹ (11,4%) entre 16 de julho de 2008 e 15 de janeiro de 2009.

Conceição e Zanetoni (2007), avaliando dois pluviômetros alternativos comerciais denominados Modelos 1 e 2, com 14,5 cm² e 34,65 cm² de área, respectivamente, constataram que o Modelo 1 não deveria ser utilizado por produtores rurais para a medida de chuvas em suas áreas, podendo ser substituídos por outros de maior área de captação e melhor precisão. No entanto, ao contrário do que foi concluído por Conceição e Zanetoni (2007), o desvio total verificado entre o pluviômetro padrão e o Alternativo 8 (85,8 mm período⁻¹) no presente trabalho, no período de seis meses, não se deveu a sua área de captação (5,7 cm²), pois a correlação com as leituras do pluviômetro *Ville de Paris* foi estreita (R = 0,9960), mas sim a seu aspecto construtivo.

Nas medições com o pluviômetro Alternativo 8 (comercial), utilizou-se a escala impressa no próprio corpo do instrumento. No entanto, observou-se após as análises dos dados experimentais que seu corpo não possuía as paredes paralelas. Assim, o mesmo não apresentava forma cilíndrica, mas sim de tronco de cone, com a área da base menor que a área de captação. Aparentemente, a escala impressa na parede do pluviômetro não levou em consideração o seu aspecto geométrico, o que explica o resultado obtido na análise de índice "d" ("d" = 0,9917), que leva à conclusão de que a concordância das leituras foi inferior ao resultado alcançado na análise de regressão (R = 0,9960), a qual mede apenas o grau de associação entre as leituras (Figura 2c). Esse tipo de pluviômetro apresentou também as bordas mais grossas dentre todos os testados (\cong 3,3 mm), possibilitando o pouso de pássaros, os quais acabaram por promover a perda de seis medições devido ao acúmulo de excrementos em seu interior. Os pluviômetros Alternativos 2 a 7 tinham espessura das bordas

de aproximadamente 0,4 mm e não apresentaram este tipo de problema.

Faria et al. (2005) e Lopes et al. (2003) também testaram um modelo de pluviômetro alternativo de “baixo custo”, construído com tubo de PVC (50 cm de altura, 100 mm de diâmetro, 165 cm² de área de captação, mais conexões e registros para a retirada da água) no Campus Universitário da Universidade Federal de Goiás (UFG) em Jataí (GO). Baseando-se apenas nas análises de regressão obtidas, Faria et al. (2005) concluíram que um pluviômetro de PVC teve excelente desempenho na obtenção de dados pluviométricos ($R = 0,9949$). Contudo, é interessante observar que alguns modelos de pluviômetros alternativos construídos e testados no presente trabalho possuem vantagens em relação ao modelo de PVC estudado. O pluviômetro Alternativo 6, além de apresentar bons resultados estatisticamente e ser mais simples (instalação, leitura, manutenção), possui custo praticamente simbólico, limitando-se à haste metálica para sua fixação, proveta e duas garrafas PET de água mineral de 1,5 L (confecção do corpo e funil do pluviômetro), não sendo necessária a compra de materiais como tubo de PVC, conexões, registros, entre outros.

Conclusão

Dentre os pluviômetros alternativos testados, o pluviômetro constituído de garrafa PET de água mineral de 1,5 L, contendo um funil interno feito a partir de outra garrafa de mesma marca e volume, instalado a 1,5 m de altura em uma haste contendo encaixes de latão rebitado, mostrou-se mais adequado (estatística e operacionalmente) para realizar medidas de precipitação na falta de um pluviômetro padrão (*Ville de Paris*).

Referências

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CAMERON, J. L. **Influence of crown traits and leaf arrangement on rainfall interception, throughfall, and stemflow in five tropical tree species**. 2007. 52 f. Tese (Doutorado em Biologia) – Universidade de Winnipeg, Winnipeg, 2007.

CASTILHO, A. Análise comparativa entre a precipitação registrada nos pluviômetros *Ville de Paris* e modelo DNAEE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; ZANETONI, L. P. **Estimativa de chuvas usando pluviômetros plásticos**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2007. (Comunicado Técnico, 75).

DUARTE, A. F.; CUNHA, R. M.; LIMA, W. S. A necessidade de otimização das informações meteorológicas na Amazônica Ocidental. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 1, p. 21-31, 2006.

FARIA, S. M. et al. Análise da precipitação pluviométrica ocorrida durante os meses de março entre 1996 a 2005 no campus avançado de Jataí/UFG. In: SOCIEDADE BRASILEIRA PARA PROGRESSO DA CIÊNCIA, 57., 2005, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, 2005.

LINS, M. S. K.; BREUCKMANN, H. J. Aspectos hidrológicos qualitativos e quantitativos: uso de procedimentos simples para monitoramento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2001.

LOPES, R. M. et al. Variabilidade pluviométrica no município de Jataí-GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 10., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), 2003.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 3. ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002.

OLIVEIRA, L. L. et al. Precipitação efetiva e interceptação em Caxiunã, na Amazônia Oriental. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 4, p. 723-732, 2008. doi:10.1590/S0044-59672008000400016.

PARK, A.; CAMERON, J. L. The influence of canopy traits on throughfall and stemflow in five tropical trees growing in a Panamanian plantation. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 5-6, p. 1915-1925, 2008. doi:10.1016/j.foreco.2007.12.025.

REICHARDT, K. et al. Daily rainfall variability at a local scale (1,000 ha), in Piracicaba, SP, Brazil, and its implications on soil water recharge. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 1, p. 43-49, 1995. doi:10.1590/S0103-90161995000100008.

SCHÄFER, R. F. **Precipitação e evapotranspiração de referência estimadas com metodologia alternativa, voltadas à realização do balanço hídrico diário**. 2009. 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

SEIBERT, J.; MORÉN, A. S. Reducing systematic errors in rainfall measurements using a new type of gauge. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 98-99, n. 1, p. 341-348, 1999. doi:10.1016/S0168-1923(99)00107-0.

SENTELHAS, P. C.; CARAMORI, P. H. Inconsistências na medida da chuva com pluviômetros de balança, utilizados em estações meteorológicas automáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 10, n. 2, p. 301-304, 2002.

SILVA, A. L. et al. Variability of water balance components in a coffee crop in Brazil. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 105-114, 2006. doi:10.1590/S0103-90162006000200001.

THOMAZ, E. L. Avaliação de interceptação e precipitação interna em capoeira e floresta secundária em Gaurapuava-PR. **Geografia**, v. 14, n. 1, p. 47-60, 2005.

WARDLE, P.; MARK, A. F. Vegetation and climate in the Dunedin District. **Transactions of the Royal Society of New Zealand**, v. 84, n. 1, p. 33-44, 1956.

WILLMOTT, C. J.; ROWE, C. M.; MINTZ, Y. Climatology of terrestrial seasonal water cycle. **International Journal of Climatology**, v. 5, n. 6, p. 589-606, 1985. doi:10.1002/joc.3370050602.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. **Guide to meteorological instruments and methods of observation**. WMO - No. 8. 7. ed. Gênova: WMO, 2008.

Recebido: 09/08/2011

Received: 08/09/2011

Aprovado: 26/07/2013

Approved: 07/26/2013