

NOVO SISTEMA DE MEDIDAS DE EVAPORAÇÃO PARA O TANQUE CLASSE "A"¹

M. DA S. AMORIM NETO² e N.A. VILLA NOVA³

RESUMO - O presente trabalho trata do projeto de construção e análise de desempenho de um novo sistema de medida evaporométrica, que é acoplado a um tanque classe "A" padrão convencional, dando-se ao sistema o nome "Tanque Classe A Modificado". A viabilidade do sistema foi testada contra medidas simultâneas com o sistema clássico (tanque classe "A" padrão e micrômetro), revelando, através de testes estatísticos, que o Tanque Classe A Modificado pode substituir com vantagens o sistema clássico, minimizando os erros de leitura - que são cometidos mesmo quando se dispõe de pessoal qualificado para esta operação - e permitindo também a realização de medidas evaporométricas com boa aproximação em dias de chuva.

Termos para indexação: evaporímetro, climatologia.

A NEW EVAPORATION MEASUREMENT SYSTEM FOR THE CLASS "A" PAN

ABSTRACT - The present work deals with design, construction and performance analysis of a new system for evaporimetric measurements, which is coupled to a standard class A evaporation pan, and which is called "Modified Class A Pan". The viability of the system was checked against simultaneous measurements taken with the conventional system (standard class A pan plus micrometer depth gauge), indicating, from statistical tests, that minimizing errors can be made even by qualified staff, and making it possible to carry out evaporimetric measurements with good approximation on rainy days.

Index terms: evaporimeter, climatology.

INTRODUÇÃO

No presente trabalho, procura-se simplificar o sistema de medida de evaporação do Tanque Classe A, através de modificações introduzidas no sistema padrão, sem perda da precisão devida, com a finalidade de minimizar os erros operacionais que se cometem com muita frequência na prática rotineira, como os de leitura do micrômetro, perdas de dados em dias de chuva, e erros cometidos no reabastecimento e transporte de dados.

REVISÃO DE LITERATURA

Procurando minimizar os "erros do operador", que ocorrem com o uso do micrômetro de gancho

na medida da evaporação do tanque, Alberio (1979) substituiu o sistema convencional por um sistema acoplado ao tanque; consiste de um tanque abastecedor, com uma régua milimetrada para medidas e um conjunto de sifões que fornece a referência de nível. Com estas modificações obtêm-se, para dados diários e médias de cinco dias, os seguintes coeficientes de correlação, respectivamente: 0,9792 e 0,9935. Assis (1978), substituindo o micrômetro por uma escala graduada e mantendo o tanque sempre em nível constante, encontrou correlações significativas com o sistema convencional.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento em questão foi conduzido nas dependências do campo experimental do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ), Piracicaba, SP.

Entende-se, por conjunto evaporimétrico modificado, um sistema de medida de evaporação (Fig. 1) constituído de um tanque classe A padrão, (A), um tanque intermediário (I), e um tanque medidor (M), cujas características são as seguintes:

Tanque classe A, padrão

Tanque de chapa galvanizada nº 22, diâmetro 120,7 cm e altura 25 cm, montado sobre suportes de madeira a 15 cm do solo.

¹ Aceito para publicação em 14 de junho de 1983.

Parte da tese do primeiro autor, apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agrometeorologia.

² Meteorologista, M.Sc., EMBRAPA - Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), BR 428 km 152, Caixa Postal 23, CEP 56300 - Petrolina, PE.

³ Eng^o - Agr^o, Dr., Professor-Adjunto do Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", USP, Caixa Postal 09, CEP 13400 - Piracicaba, SP.

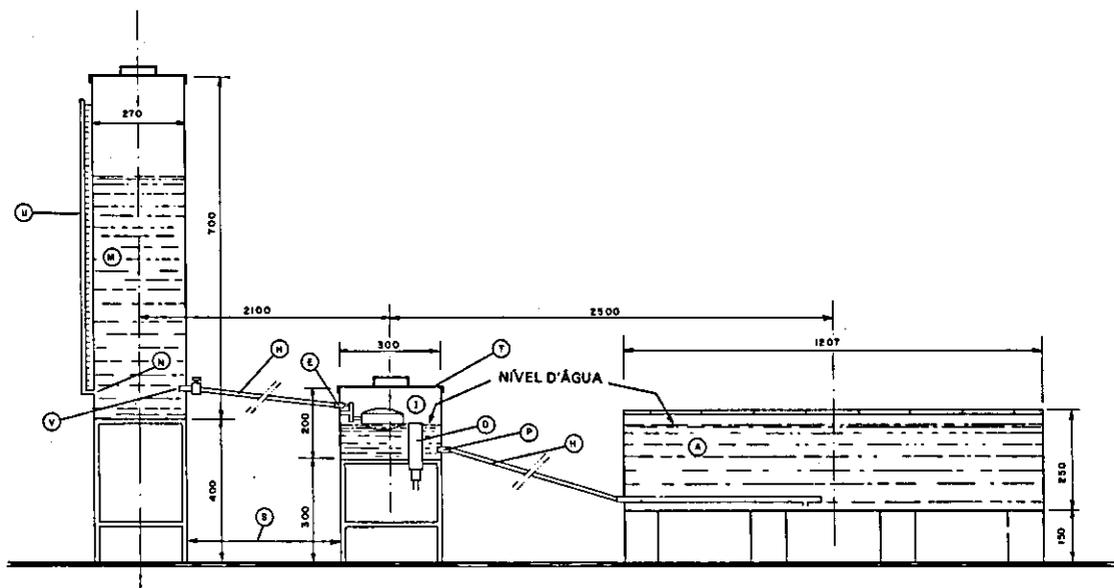


FIG. 1 Conjunto evaporimétrico modificado.

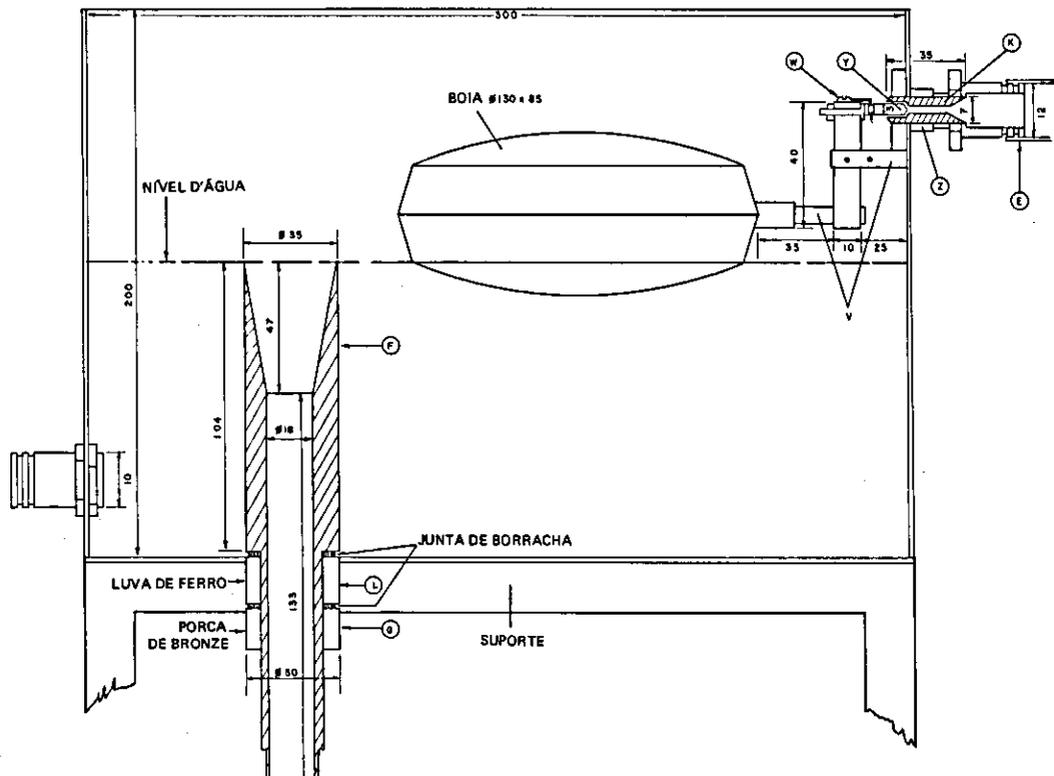


FIG. 1' Tanque intermediário do conjunto evaporimétrico.

Tanque intermediário

Tanque cilíndrico, chapa galvanizada 22, diâmetro 30 cm, altura 20 cm, com Tampa (T) e suportes (S) de ferro, tripé de ferro chato 1 x 1/4, altura 30 cm, com três saídas (Fig. 2).

Tanque medidor

Cilíndrico, diâmetro 27 cm, altura 70 cm, chapa galvanizada 22, com tampa removível. Possui uma tomada para tubo de nível de 1 cm de diâmetro (N) e uma saída d'água (V), diâmetro 1 cm, para o tanque intermediário. Um suporte (S) de ferro chato de 1" x 40 cm (tripé) mantém o tanque na altura de trabalho (Fig. 1). Uma escala graduada em mm de evaporação (U) foi fixada ao longo do tubo de nível.

Para ser colocado em marcha operacional, o conjunto evaporimétrico modificado passou pela seguinte série de operações:

Montagem e ajuste

Os tanques dispostos de acordo com a Fig. 1 passaram pelas seguintes etapas de ajuste:

1. Nivelamento do tanque classe A realizado com régua e nível comum.

2. Determinação do nível de equilíbrio do tanque intermediário. Esta operação foi realizada introduzindo-se água pela tubulação (E) com saída P fechada, até cessar a admissão de água. Marcou-se, este nível, com lápis, na parte externa do tanque intermediário.

3. Regulagem da altura de trabalho do tanque intermediário. Esta altura foi obtida ajustando-se o suporte (com batidas e penetração no solo) até que o nível marcado na parte externa do tanque intermediário (I) estivesse na altura correspondente a 6 cm abaixo da parte superior do tanque classe A. Assim procedendo, condicionou-se o nível d'água no tanque classe A, sempre aproximadamente a 6 cm da borda, que é o nível médio entre 5 e 7 cm permitíveis para o tanque classe A padrão.

4. Regulagem do dreno do tanque intermediário. Uma vez determinado o nível d'água dentro do tanque intermediário (nível de trabalho), soltando-se a porca de fixação G, rosqueou-se o tubo de dreno até que sua extremidade superior estivesse a cerca de 0,1 mm acima do nível d'água.

Em seguida, avaliou-se preliminarmente as condições de desempenho do conjunto evaporimétrico, realizando os seguintes testes:

Aferição da escala de medida - Para verificação de possíveis erros construtivos, procedeu-se a um teste da escala de medida, que depende dos diâmetros dos tanques, da seguinte maneira: sendo

V_1 = volume de água evaporada no tanque classe A,

Δh_1 = altura de água evaporada no tanque classe A;

S_1 = superfície do tanque classe A;

V_3 = volume escoado do tanque intermediário para manter o nível constante;

V_3 = volume escoado do tanque medidor para manter o nível constante;

Δh_3 = altura de água escoada do tanque medidor; e

S_3 = superfície do tanque medidor (M),

todas as vezes que ocorrer a evaporação V teremos, de acordo com o balanço de água,

$$V_1 = V_2 = V_3 = V, \quad (1)$$

pois os tanques medidor e intermediário são vedados, e portanto a única perda admissível seria aquela que ocorre por evaporação no tanque Classe A.

Decorre que

$$V_1 = V_3, \quad (2)$$

ou, ainda,

$$h_1 S_1 = h_3 S_3, \quad (3)$$

e também

$$\Delta h_3 = \Delta h_1 \cdot \frac{S_1}{S_3}. \quad (4)$$

A altura de água que escoou do tanque medidor (Δh_3) será então S_1/S_3 vezes maior do que a altura de água evaporada.

O teste de escala consistiu, então, em retirar repetidos volumes do tanque A, medindo-se a variação de altura decorrente (Δh_1) e colocar estes mesmos volumes no tanque medidor, medindo também a variação de altura ocorrida (Δh_3). A relação média entre área dos tanques (S_1/S_3) ficou expressa por:

$$\frac{\bar{S}_1}{S_3} = \frac{\Delta h_3}{\Delta h_1} = \frac{1}{n} \frac{\sum \Delta h_3}{\sum \Delta h_1}, \quad (5)$$

onde o n é o número de repetições.

Estimativa da variação da altura de equilíbrio devido à dilatação volumétrica da água - Uma vez a altura de equilíbrio das colunas d'água nos tanques deve variar em função da temperatura, estimou-se uma provável variação de altura de equilíbrio (Δh) pelas seguintes relações: sendo h_1 e h_2 as alturas de equilíbrio; t_1 e t_2 as temperaturas da água; e V_1 e V_2 os volumes correspondentes de uma massa d'água a estas temperaturas,

$$\Delta V = V_2 - V_1 = V_0 \{1 + \alpha(t_2 - t_0)\} - V_0 \{1 + \alpha(t_1 - t_0)\} \\ = V_0 \alpha(t_2 - t_1), \quad (6)$$

sendo t_0 a temperatura de referência, e α , o coeficiente de dilatação volumétrica da água.

Assim sendo, a variação total de altura de equilíbrio entre t_2 e t_1 será:

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{S_1} = \frac{V_0 \alpha(t_2 - t_1)}{S_1} = \frac{h_0 S_1 \alpha(t_2 - t_1)}{S_1}, \quad (7)$$

ou ainda:

$$\Delta h = h_0 \alpha (t_2 - t_1), \quad (8)$$

expressão que nos permite estimar a amplitude de variação de altura de equilíbrio h , em função das temperaturas extremas t_2 e t_1 , observadas em um período, e da altura total de água no tanque classe A, considerada como h_0 , desde que o intervalo de temperaturas consideradas, α , pode ser tomado como constante.

Finalmente, realizou-se a análise do desempenho do tanque classe A modificado com relação ao tanque A padrão, considerando-se duas situações:

Em dias sem chuva - Para verificar se as variações observadas nos tanques modificados 1 e 2 (E_1 e E_2) não diferem entre si, e se sua média \bar{E}_{12} ($\bar{E}_{12} = \frac{E_1 + E_2}{2}$) não difere

daquela observada no tanque padrão (E_p), procedeu-se às seguintes análises estatísticas.

Tomando-se por base os dados diários dos meses de março, abril, maio, junho e julho de 1980 e os dados globais deste período, realizaram-se os seguintes confrontos para dados pareados, utilizando-se o teste t.

- E_1 versus E_2 (para valores diários e globais).
- \bar{E}_{12} versus E_p (para valores diários e globais).
- E_1' versus E_2' (para valores acumulados de três dias).
- E_1' versus E_p' (para valores acumulados de três dias).

Em dias com chuva - Para os fins de chuva, nos quais os dados de E_1 e E_2 discrepavam daqueles obtidos de E_p , corrigiram-se os valores de E_p através de um simples balanço contábil (casos nos quais o tanque padrão não chegará a transbordar), ou seja, $E_p = L_1 + P - L_2$, onde:

- E_p = evaporação corrigida do tanque padrão;
- L_1 = leitura micrométrica do dia anterior;
- L_2 = leitura micrométrica do dia posterior;
- P = precipitação medida no pluviômetro.

Os valores de E_p assim corrigidos foram comparados com E_1 e E_2 , com a finalidade de verificar a viabilidade desta correção.

RESULTADOS

Relativos aos testes preliminares de desempenho dos tanques classe A modificados

Aferição da escala de medida - Na Tabela 1, são demonstrados os valores simultâneos $\Delta h_3/\Delta h_1$ obtidos pela metodologia exposta, assim como o valor médio do valor de S_1/S_3 , para cada conjunto evaporimétrico modificado, que nos demonstram a relação média construtiva obtida entre as seções

dos tanques medidores e os tanques evaporimétricos classe A.

Estimativa da variação da altura de equilíbrio causada pela dilatação volumétrica da água - De acordo com o exposto no método, a provável amplitude de variação da altura de equilíbrio Δh , sendo expressa por:

$$\Delta h = h_0 \alpha (t_2 - t_1),$$

admitindo-se que, durante um período qualquer, a temperatura da água do tanque varia de $(t_2 - t_1)$, sendo $\alpha = 0,207 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, e h_0 aproximadamente 225 mm, obter-se-ão as seguintes variações da altura de equilíbrio da água no tanque intermediário (Δh):

Δh	$t_2 - t_1$
0,5 mm	10 $^\circ\text{C}$
0,7 mm	15 $^\circ\text{C}$
0,9 mm	20 $^\circ\text{C}$

Relativos ao desempenho dos conjuntos evaporimétricos modificados

Evaporação em dias sem chuva - Confronto entre os dados observados de E_1 e E_2 com a finalidade de verificar se E_1 difere estatisticamente de E_2 na escala diária, considerando-se os meses em separado e o período global. O teste t aplicado revelou os resultados contidos na Tabela 2.

Confronto entre os dados observados de \bar{E}_{12} e E_p com a finalidade de verificar se \bar{E}_{12} difere estatisticamente de E_p na escala diária, considerando-se os meses em separado e o período global. O teste t aplicado revelou os resultados contidos na Tabela 3.

Confronto entre os dados acumulados para três dias de E_1' e E_2' , com a finalidade de verificar se E_1' difere estatisticamente de E_2' , no período global. O teste t aplicado revelou os resultados contidos na Tabela 4.

Confronto entre os dados acumulados de \bar{E}_{12}' e

TABELA 1. Comparações entre medidas simultâneas de evaporação, obtidas no tanque A e no tanque medidor. Δh_1 = medida no tanque A (micrômetro); Δh_3 = medida no tanque medidor (mm de altura/mm de evaporação); S_1/S_3 = relação entre as áreas reais dos tanques A_1/A_3 .

Micrômetro			Tanque medidor		Δh_3	$\frac{S_1}{S_3} = \frac{\Delta h_3}{\Delta h_1}$	$\Delta h_3 - \Delta h_1$ (mm)
Inicial (mm)	Final (mm)	Δh_1 (mm)	Inicial (mm)	Final (mm)			
49,80	58,55	8,75	0	176	176/8,80	1:20,1	0,05
58,55	67,23	8,70	0	177	177/8,85	1:20,3	0,15
31,64	40,42	8,79	0	177	177/8,85	1:20,2	0,06
40,42	49,11	8,69	0	176	176/8,80	1:20,2	0,11
57,60	66,36	8,76	0	176	176/8,80	1:20,1	0,04
Médias						1:20,2	0,08

TABELA 1. Continuação.

Inicial (mm)	Final (mm)	Δh_1 (mm)	Inicial (mm)	Final (mm)	Δh_3	$\frac{S_1}{S_3} = \frac{\Delta h_3}{\Delta h_1}$	$\Delta h_3 - \Delta h_1$ (mm)
50,64	59,33	8,69	0	177	177/8,85	1:20,4	0,16
59,33	68,18	8,85	0	177	177/8,85	1:20,0	0,00
54,14	62,81	8,67	0	177	177/8,85	1:20,4	0,18
25,45	34,04	8,59	0	176	176/8,80	1:20,5	0,21
34,04	42,68	8,64	0	177	177/8,85	1:20,5	0,21
Médias						1:20,4	0,15

TABELA 2. Confronto de E_1 e E_2 .

Meses	t	\bar{d}	Intervalo de confiança (95%)		Médias	
			LI	LS	\bar{E}_1	\bar{E}_2
Março	-0,36	-0,11	-0,73	0,51	5,92	5,81
Abril	0,67	0,08	-0,16	0,32	3,89	3,97
Maio	-0,10	-0,02	-0,36	0,32	3,17	3,15
Junho	2,66*	0,32	0,08	0,56	2,17	2,49
Julho	0,79	0,16	-0,24	0,56	3,00	3,16
Global	0,10	1,34	0,06	0,26	3,30	3,40

$t_{1,5}$ = teste t calculado.

$d_{1,5}$ = médias de diferenças $E_2 - E_1$.

LI = limite inferior do intervalo de confiança.

LS = limite superior do intervalo de confiança.

E'_p , com a finalidade de verificar se $E'_{1,2}$ difere estatisticamente de E'_p , no período global. O teste

t aplicado revelou os resultados contidos na Tabela 5.

Evaporação em dias com chuva - Os valores de evaporação em dias de chuva E_p , evaporação corrigida E_{pc} e evaporação dos tanques E_1 e E_2 são relacionados na Tabela 6.

TABELA 3. Confronto de $\bar{E}_{1,2}$ e E_p .

Meses	t	\bar{d}	Intervalo de confiança (95%)		Médias	
			LI	LS	$\bar{E}_{1,2}$	\bar{E}_p
Março	1,64	0,30	-0,06	0,66	5,86	5,56
Abril	-0,29	-0,03	-0,23	0,17	3,96	3,99
Maio	1,54	0,14	-0,04	0,32	3,17	3,02
Junho	-0,07	-0,01	-0,21	0,19	2,33	2,34
Julho	-0,08	-0,02	-0,52	0,48	3,10	3,12
Global	1,26	0,07	-0,03	-0,17	3,36	3,30

TABELA 4. Confronto de E_1^* e E_2^* .

t	\bar{d}	Intervalo de confiança (95%)	
		LI	LS
1,25	0,25	-0,15	0,65

TABELA 5. Confronto de \bar{E}_{12}^* e E_p^* .

t	\bar{d}	Intervalo de confiança (95%)	
		LI	LS
1,42	0,22	-0,10	0,54

TABELA 6. Valores simultâneos de evaporação corrigida (E_{pc}), evaporação dos tanques modificados 1 e 2 (E_1 e E_2) e precipitação pluviométrica (P).

Datas	Leit. micrômetro		P (mm)	E_{pc} (mm)	E_1 (mm)	E_2 (mm)
	Inicial	Final				
27.03	65,69	69,66	5,0	1,03	1,6	1,3
28.03	69,66	69,71	2,1	2,05	1,5	1,7
29.03	69,71	74,42	7,7	2,99	1,7	1,3
03.04	69,52	75,38	5,1	-0,76	1,4	1,6
04.04	75,38	79,71	8,4	4,07	1,4	1,5
15.04	transbordou		49,2	-	1,1	1,4
24.04	79,38	77,34	5,8	2,44	1,5	2,6
27.04	69,90	74,68	7,7	2,92	1,9	2,4
03.05	transbordou		28,9	-	2,8	4,3
06.06	transbordou		46,6	-	1,3	1,1
15.06	63,88	73,74	12,1	2,24	2,5	1,8
16.06	73,74	82,94	9,3	0,1	1,0	1,1

DISCUSSÃO

Resultados relativos aos testes preliminares de desempenho dos tanques classe A modificados

Aferição da escala de medida - De acordo com a metodologia descrita, os dados da Tabela 1 demonstram uma relação média de 1:20,2 (conjunto evaporimétrico 2) e 1:20,4 (conjunto evaporimétrico 1), entre altura de água evaporada no tanque classe A, e altura de água fornecida pelo tanque medidor, ou seja, para cada mm de água evaporada no tanque A tem-se, respectivamente, 20,2 e 20,4 mm de abaixamento de nível no tanque medidor. Apesar de os diâmetros construtivos terem sido projetados para que esta relação fosse: 1:20, na prática não se conseguiu obter tal proporção. Para corrigir este defeito construtivo, utilizou-se, no tanque medidor, uma escala normal (1 cm igual a 1 mm de evaporação, ou seja, 1:20), multiplicando-se os valores obtidos pelos fatores

de correção, respectivamente $0,99, \left(\frac{200}{202}\right)$ e $0,98 \left(\frac{200}{204}\right)$, sanando assim esta deficiência.

Estimativa da variação da altura de equilíbrio causada pela dilatação volumétrica da água - Como ficou demonstrado no capítulo de Resultados, existe uma variação Δh de altura de equilíbrio de água nos tanques, que pode impedir que em determinado instante haja fluxo pela válvula, ou vice-versa.

Exemplificando: admitindo que, em certo instante, a evaporação seja da ordem de 0,1 mm/hora, e que durante este intervalo de tempo ou mais a temperatura da água baixe para 10°C, de acordo com os cálculos efetuados, deveremos ter uma alimentação de 0,5 mm de água, em virtude da contração de volume. Embora praticamente tal efeito não deva influir nas medidas, pois entre duas observações é pouco provável a ocorrência de tal variação de temperatura, nota-se que, por causa

deste efeito, durante o dia principalmente, a válvula pára de debitar água, compensando este efeito com débito mais veloz nas horas de menor temperatura. Convém notar, também, que esta fonte de erro deva diluir-se, porque, em regra, segundo recomendações da FAO (1979), os dados de evapotranspiração potencial estimados pelo tanque Classe A tornam-se consistentes para intervalos de medida superiores a cinco dias. Tal efeito deve explicar o fato observado de que, por vezes, a quantidade de água debitada pelo tanque medidor era maior no período noturno do que no diurno.

Estas estimativas de variação provável de nível foram também necessárias para determinar a "altura de guarda" do dreno do tanque intermediário para evitar problemas de extravasamento. Assim, manteve-se para os dois tanques uma "guarda" de 1 mm. É óbvio que nos períodos de chuva, estas condições determinaram correções aditivas de pelo menos um milímetro nas leituras efetuadas.

Relativos ao desempenho dos tanques classe A modificados

Evaporação em dias sem chuva. Confronto entre E_1 e E_2 (medidas diárias) - De acordo com os dados da Tabela 2, os dois tanques modificados não apresentam diferenças de comportamento quanto às estimativas de evaporação, com exceção do mês de junho, no qual o valor de t revelou-se significativo. Atribuiu-se este fato à interferência de fatores alheios ao experimento (vandalismo) observados freqüentemente nesse período. Apesar disto, nota-se que na análise realizada para o período global, a diferença existente entre os tanques E_1 e E_2 não foi significativa.

Confronto entre \bar{E}_{12} e E_p (medidas diárias) - Assumindo-se que E_1 não difere de E_2 , para avaliar o desempenho dos conjuntos modificados, com relação ao padrão E_p , considerou-se a média destes dois valores, com o objetivo de eliminarem-se problemas decorrentes da exposição diferencial dos dois sistemas. Conforme a análise exposta na Tabela 3, não houve diferença significativa entre \bar{E}_{12} e E_p , tanto para valores diários de cada mês em separado, como para o período global.

Confronto entre E'_1 e E'_2 (medidas acumuladas de três dias) - De acordo com os resultados demonstrados

na Tabela 6, não existe diferença significativa dos dados analisados para o período global.

Confronto entre \bar{E}'_{12} e E'_p (medidas acumuladas de três dias) - De acordo com os resultados da análise demonstrados na Tabela 5, não existem, como era de esperar, diferenças significativas nos dados analisados para o período global.

Evaporação em dias com chuva - Para verificar a eficiência do conjunto evaporimétrico em dias de chuva, separaram-se os dados conforme a Tabela 6. Observa-se, por ela que nos dias de transbordamento (15.4, 3.5 e 6.6), como era de esperar, não se pôde avaliar a evaporação do tanque padrão, pois L_2 fica indeterminado. Nos dias em que não existe transbordamento, verifica-se que é possível corrigir, em alguns casos, os dados do tanque padrão, com o auxílio do pluviômetro; existem, porém, situações nas quais esta correção determina valores discrepantes (dias 3.4 e 4.4), principalmente quando a chuva é associada a vento e turbilhões. Embora admitindo que um maior número de observações seja necessário para uma análise conclusiva, de maneira geral, pela repetição de valores que foram observados nos conjuntos evaporimétricos, pode-se acreditar na eficiência destes sistemas, para medidas em dias de chuva.

CONCLUSÕES

É perfeitamente viável a utilização do sistema de medida de evaporação apresentado em substituição ao processo micrométrico convencional, pois o sistema de medida utilizado no tanque classe A modificado sugere as seguintes vantagens sobre o processo convencional:

1. permite a leitura da evaporação em dias de chuva, mesmo naqueles nos quais ocorre o transbordamento do tanque convencional.

2. As leituras sendo realizadas em uma escala linear simples, deverão minimizar os freqüentes erros operacionais detectados na prática, graças ao baixo nível operacional requerido.

REFERÊNCIAS

ALBERIO, I.A. de S. Estudo sobre modificações introduzidas no tanque Classe A e no método de Penman. Piracicaba, ESALQ-USP, 1979. 91p. Tese Mestrado.

- ASSIS, F.N. de. O uso do evapotranspirômetro no estudo de algumas relações entre a evapotranspiração medida e estimada. Piracicaba, ESALQ-USP, 1978. 73p. Tese Mestrado.
- FAO, Roma Itália. Response to water. In: DOORENBOS, J. & KASSANS, A.H. Irrigation yield drainage. Rome, 1979. p.193. (Paper, 33).