

AGROMETEOROLOGIA

Nota

SIMPLIFICANDO O BALANÇO HÍDRICO DE THORNTHWAITE-MATHER⁽¹⁾

ANTONIO ROBERTO PEREIRA ^(2,3)

RESUMO

Seguindo a abordagem de Mendonça, em 1958, e com princípios básicos de cálculo o balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather, em 1955, foi simplificado eliminando-se a coluna de Negativo Acumulado, sem nenhuma perda para os resultados finais. Essa simplificação aumenta a eficiência dos cálculos e torna o balanço hídrico mais fácil de ser entendido.

Palavras-chave: negativo acumulado, evapotranspiração real, deficiência hídrica

ABSTRACT

SYMPLIFYING THE THORNTHWAITE-MATHER WATER BALANCE

Following the approach presented by Mendonça (1958) and using basic calculus the Thornthwaite & Mather (1955) climatic water balance was simplyfied by eliminating the column Accumulated Potential Water Loss, without any loss for the final results. Such simplification increases the efficiency of the computations and it makes easier to understand the water balance.

Key words: accumulated potential water loss, actual evapotranspiration, water deficit

Introdução

O balanço hídrico climatológico (BHC) foi desenvolvido por THORNTHWAITE e MATHER (1955) para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração, há necessidade de se definir

o armazenamento máximo no solo (CAD - Capacidade de Água Disponível), e de se ter a medida da chuva total, e também a estimativa da evapotranspiração potencial em cada período. Com essas três informações básicas, o BHC permite deduzir a evapotranspiração real, a deficiência ou o excedente hídrico, e o total de água retida no solo em cada período.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em 30 de junho e aceito em 30 de dezembro de 2004.

⁽²⁾ Departamento de Ciências Exatas, ESALQ-USP, Caixa Postal 9, 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: arpereir@esalq.usp.br

⁽³⁾ Bolsista do CNPq.

Como o solo é um reservatório que dificulta a saída da água à medida que vai secando, nos períodos em que o total de chuvas (P) é menor que a evapotranspiração potencial (ETP), a água retida torna-se uma função dessa demanda potencial ($P - ETP < 0$) e da CAD adotada. Havendo uma sequência de períodos nessa condição, a água retida no solo será uma função sequencial dos valores negativos acumulados de $P - ETP$, ou seja, da perda potencial acumulada (THORNTHWAITTE e MATHER, 1955). Tal somatório foi denominado "negativo acumulado" (ORTOLANI et al., 1970; CAMARGO, 1971). Para facilitar a elaboração do balanço hídrico THORNTHWAITTE e MATHER (1957) apresentaram uma série de tabelas de água retida em função do negativo acumulado para valores de CAD variando de 25 mm a 400 mm, pois naquela época a capacidade computacional estava restrita a máquinas mecânicas de difícil operação.

Utilizando cálculo diferencial e integral, impondo as condições de contorno do BHC, MENDONÇA (1958) propôs a primeira simplificação no método de Thornthwaite-Mather, na qual todas as tabelas de água retida (ARM) podiam ser substituídas pela equação adimensional $ARM/CAD = \exp [\text{Neg Acum}/CAD]$. Essa equação facilita a programação dos cálculos do balanço hídrico, pois elimina o uso das tabelas (PINTO e PREUSS, 1975). No fim do período de estiagem se ocorrer um mês com $P - ETP > 0$, mas em quantidade insuficiente para levar o ARM ao valor máximo (CAD), calcula-se um valor para Neg Acum daquele mês, invertendo-se a equação de Mendonça (PEREIRA et al., 1997, p153). Menos freqüente é a ocorrência de um mês com $P - ETP > 0$ durante o período seco, também em quantidade insuficiente para atingir a CAD, seguido novamente por outro mês seco.

Para avaliar o ARM desse último mês, é necessário calcular o Neg Acum do mês anterior adicionado do $P - ETP$ do mês em curso. Essa última condição é mais comum quando se efetua o BHC ao longo de anos reais (não com valores normais), ou em escalas de tempo menores que mês para se monitorar o ARM em tempo real.

Por este trabalho, verifica-se que a equação de Mendonça pode ser generalizada eliminando-se a coluna Neg Acum sem nenhuma perda no resultado do BHC, economizando cálculos desnecessários.

Teoria

Para uma sequência de n meses com estiagem após a estação chuvosa, o armazenamento (ARM_n) ao longo desses meses será dado pela equação de MENDONÇA (1958), na forma condensada, ou seja,

$$ARM_n = CAD \exp\left[\frac{\text{Neg Acum}_n}{CAD}\right] = CAD \exp\left[\frac{\sum_{i=1}^n (P - ETP)_i}{CAD}\right] \quad (1)$$

Supondo-se uma sequência de dois meses ($n = 2$) de $P - ETP < 0$, para facilitar a demonstração, e expandindo-se a equação 1, tem-se:

$$ARM_2 = CAD \exp\left[\frac{(P - ETP)_1 + (P - ETP)_2}{CAD}\right] = CAD \exp\left[\frac{(P - ETP)_1}{CAD}\right] \exp\left[\frac{(P - ETP)_2}{CAD}\right] \quad (2)$$

Por definição:

$$CAD \exp\left[\frac{(P - ETP)_1}{CAD}\right] = ARM_1 \quad (3)$$

resultando em:

$$ARM_2 = ARM_1 \exp\left[\frac{(P - ETP)_2}{CAD}\right] \quad (4)$$

que, para uma sequência de n meses reduz-se à equação geral:

$$ARM_n = ARM_{n-1} \exp\left[\frac{(P - ETP)_n}{CAD}\right] \quad (5)$$

Havendo um ou mais meses com $P - ETP > 0$, mas com valores insuficientes para levar o ARM até o valor da CAD, segue-se a rotina normal com:

$$ARM_n = ARM_{n-1} + (P - ETP)_n \quad (6)$$

Em seguida, havendo outro mês de $P - ETP < 0$, retoma-se a equação 5, sem necessidade de se calcular o valor do Neg Acum no período anterior.

Exemplo

Embora a simplificação aqui descrita seja embasada em princípios matemáticos e sem aproximações, a apresentação de um exemplo de balanço hídrico completo não tem finalidade de comprová-la, mas apenas de indicar o ganho em eficiência no cômputo e no entendimento do modelo de THORNTHWAITTE e MATHER (1955). Foi selecionado um caso especial em que o valor anual de $\sum[P - ETP] < 0$, com uma CAD maior que o somatório dos valores positivos ($\sum[P - ETP]^+ = M$). Nessa situação ($CAD > M$), o ARM nunca será igual à CAD e a abordagem clássica exige o cálculo de um valor inicial de Neg Acum (primeiro mês depois do período chuvoso).

Essa situação é mostrada na Tabela 1, com as condições normais de Campina Grande, PB (7° 08' S; 35° 32' W; 548 m), conforme o balanço hídrico mostrado em PEREIRA et al. (1997, p157). Agora, a coluna Neg Acum da abordagem clássica pode ser eliminada. No presente exemplo, em função do clima local, eliminou-se a coluna de excedente hídrico por razões óbvias. O valor do ARM no fim do período

chuvoso (julho), mês de início dos cálculos, será dado pela proposição de MENDONÇA (1958) e descrita em PEREIRA et al. (1997), ou seja,

$$ARM_7 = \frac{M}{1 - \exp\left[\frac{N}{CAD}\right]} = \frac{111}{1 - \exp\left[\frac{-465}{125}\right]} \approx 114 \text{ mm} \quad (7)$$

em que: $M = \sum[P - ETP]_+ = 111 \text{ mm}$, $N = \sum[P - ETP]_- = -465 \text{ mm}$.

Daí em diante, os cálculos do ARM são dados pelas equações 5 e 6 conforme o caso de julho.

Não há necessidade de se calcular o Neg Acum (= $CAD \cdot \ln [ARM / CAD] = -12 \text{ mm}$) correspondente, pois no próximo mês (agosto) tem-se $ARM^8 = 114 \exp[-20 / 125] \approx 97 \text{ mm}$, sem necessidade de se saber o Neg Acum de agosto.

Tabela 1. Balanço hídrico segundo THORNTHWAITE e MATHER (1955), para Campina Grande, PB (7° 08' S; 35° 32' W; 548 m), com CAD = 125 mm. Valores expressos em mm

MÊS	P	ETP	P-ETP	Neg Acum	ARM	ALT	ETR	DEF
JAN	41	108	-67	-408	5	-3	44	64
FEV	55	109	-54	-462	3	-2	57	52
MAR	100	115	-15	-477	3	0	100	15
ABR	129	107	+22	-201	25	+22	107	0
MAI	95	95	0	-201	25	0	95	0
JUN	107	80	+27	-110	52	+27	80	0
JUL	124	62	+62	-12	114*	+62	62	0
AGO	58	78	-20	-32	97	-17	75	3
SET	38	77	-39	-71	71	-26	64	13
OUT	17	102	-85	-156	36	-35	52	50
NOV	19	108	-89	-245	18	-18	37	71
DEZ	21	117	-96	-341	8	-10	31	86
ANO	804	1158	-465	-	-	±111	805	354
	-	-	+111	-	-	-	-	-

* O balanço hídrico normal começa neste mês. A coluna *Neg Acum* pode ser eliminada.

CONCLUSÃO

Utilizando-se a abordagem de MENDONÇA (1958) foi possível simplificar os cálculos do balanço hídrico de Thornthwaite-Mather eliminando-se a coluna de Negativo Acumulado, com o mesmo resultado final. Além da maior eficiência pela redução nos cálculos necessários, o modelo ficou mais fácil de ser explicado e entendido.

REFERÊNCIAS

- CAMARGO, A.P. **Balanço hídrico no Estado de São Paulo**. 3.ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1971. 28p. (Boletim 116)
- MENDONÇA, P.V. Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de Thornthwaite-Mather. In: CONGRESSO LUSO-ESPANHOL PARA O PROGRESSO DAS CIÊNCIAS, 24., Madrid. **Anais...** Madri, 1958, p.271-282.
- ORTOLANI, A.A. et al. **Parâmetros climáticos e a cafeicultura**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1970. 27p.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- PINTO, H.S.; PREUSS, A. Uso de computador no cálculo do balanço hídrico climático. **Turrialba**, San José, v.25, n.2, p.199-201, 1975.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1957. 311p. (Publications in Climatology, vol.X, n.3)