

de solo é função do processo de perda de água do solo. O processo de perda de água do solo é função do conteúdo de água disponível no solo, sem conhecer detalhadamente os atributos e suas relações complexas que causam esse comportamento, foram estabelecidas quatorze condições necessárias à aceitação de modelos estatísticos, que têm como característica a representabilidade desse processo. Foram elaborados nove modelos - potencial de segunda ordem, potencial de terceira ordem, cúbico, logarítmico, co-senoidal, potencial de primeira ordem-senoidal, potencial de segunda ordem-senoidal, senoidal-quadrático e senoidal-logarítmico - os quais foram conjuntamente checados com os modelos propostos por outros autores. Em função da análise dos modelos discutidos, levando em consideração as quatorze condições estabelecidas, concluiu-se que o modelo co-senoidal é o que deve melhor estimar o valor do armazenamento de água no solo, sendo, portanto, recomendada sua utilização em cálculos referentes ao balanço hídrico.

ESTIMATIVA DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO PARA REALIZAÇÃO DE BALANÇO HÍDRICO⁽¹⁾

Desenvolvida por D. Dourado Neto e Q. de Jong van Lier

D. DOURADO NETO⁽²⁾ & Q. de JONG VAN LIER⁽³⁾

RESUMO

Reconhecendo que o processo de perda de água do solo é função do armazenamento de água disponível no solo, sem conhecer detalhadamente os atributos e suas relações complexas que causam esse comportamento, foram estabelecidas quatorze condições necessárias à aceitação de modelos estatísticos, que têm como característica a representabilidade desse processo. Foram elaborados nove modelos - potencial de segunda ordem, potencial de terceira ordem, cúbico, logarítmico, co-senoidal, potencial de primeira ordem-senoidal, potencial de segunda ordem-senoidal, senoidal-quadrático e senoidal-logarítmico - os quais foram conjuntamente checados com os modelos propostos por outros autores. Em função da análise dos modelos discutidos, levando em consideração as quatorze condições estabelecidas, concluiu-se que o modelo co-senoidal é o que deve melhor estimar o valor do armazenamento de água no solo, sendo, portanto, recomendada sua utilização em cálculos referentes ao balanço hídrico.

Termos de indexação: balanço hídrico, armazenamento crítico.

SUMMARY: ESTIMATION OF THE STORED SOIL WATER FOR THE EVALUATION OF THE WATER BALANCE

Recognizing previously that the process of soil water loss is a function of the available soil water content, without knowing in detail the attributes and their complex relations that rule this behaviour, fourteen conditions needed for the acceptance of statistical models that possess as characteristic the representability of this process were established. Nine models were elaborated (second-order potential, third-order potential, cubic, logarithmic, cosinusous, first-order potential-sinusoidal, second-order potential-sinusoidal, quadratic-sinusoidal, and logarithmic-sinusoidal), and checked together with the models proposed by other authors. Based on the analysis of the discussed models, considering the fourteen established conditions, the conclusion was that the cosinusous model is the one that best estimates the stored soil water. Therefore its utilization in water balance evaluations is recommended.

Index terms: water balance, critical soil water content.

⁽¹⁾ Trabalho recebido para publicação em abril e aprovado em outubro de 1992.

⁽²⁾ Professor Doutor do Departamento de Agricultura da ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP).

⁽³⁾ Estudante de Pós-Graduação do Departamento de Ciência do Solo da ESALQ/USP. Caixa Postal 9, CEP 13418-900 Piracicaba (SP).

INTRODUÇÃO

O método para a realização do balanço hídrico proposto por Thornthwaite & Mather (1955) é amplamente utilizado em nosso meio, por possibilitar a previsão da variação temporal do armazenamento de água no solo, com estimativas da evapotranspiração real, déficit hídrico e excedente hídrico.

A hipótese basilar desse método é de que a taxa de perda de água por evapotranspiração varia linearmente com o armazenamento de água no solo, sendo máxima quando o solo está com a umidade correspondente à "capacidade de campo" e nula quando esse se encontra no "ponto de murchamento permanente". Em consequência, verifica-se o armazenamento varia exponencialmente com o negativo acumulado.

Rijtema & Aboukhaled (1975), propuseram um fator de água disponível (p) que viabiliza a consideração das três fases do sistema agrícola (solo, planta e atmosfera). A aceitação dessa proposição implica a necessidade de reformular a estimativa do armazenamento de água no solo em função do negativo acumulado.

O objetivo do presente trabalho é apresentar equações que têm como característica a representabilidade do processo de perda de água no solo em função do conhecimento empírico prévio do fenômeno.

MATERIAL E MÉTODOS

Para efeito de proposição de hipótese basilar, equação que descreve a taxa de perda de água (dB/dt , mm/periódico) em função do armazenamento (Arm , mm) de água no solo, definem-se duas zonas de umidade: (1) zona seca: $0 \leq Arm \leq (1-p)CAD$; e (2) zona ótima: $(1-p)CAD < Arm \leq CAD$, onde p é o fator de água disponível e CAD , a capacidade de água disponível (mm). Como consequência da hipótese basilar, deduz-se analiticamente uma expressão que estima o armazenamento de água no solo em função do negativo acumulado (L , mm) - Figura 1.

Para estimativa da variação temporal do teor médio de água no perfil de solo, até a profundidade efetiva do sistema radicular, admite-se que, na zona seca de umidade, a taxa de perda de água é função do armazenamento:

$$\frac{dB}{dt} = \frac{dB}{dt} (Arm); \quad 0 \leq Arm \leq (1-p)CAD \quad (1)$$

e na zona ótima de umidade a taxa de perda de água é máxima e constante (K , mm/periódico):

$$\frac{dB}{dt} = K; \quad (1-p)CAD < Arm \leq CAD \quad (2)$$

As condições necessárias à aceitação de modelos empíricos são estabelecidas em função do conheci-

mento empírico do processo de perda de água do solo por evapotranspiração, na camada compreendida pelo sistema radicular, entre a superfície e a profundidade efetiva do sistema radicular - Quadros 1 e 2.

Levando em consideração as quatro primeiras condições necessárias à aceitação do modelo - Qua-

Quadro 1. Descrição sucinta das quatorze condições necessárias à aceitação de equação para estimativa de armazenamento disponível em função do negativo acumulado

Condição	Descrição sucinta
1	Quando o solo se encontra com umidade correspondente ao ponto de murchamento permanente (armazenamento disponível nulo), admite-se que a perda de água pelo solo por evapotranspiração é desprezível, podendo ser considerada nula.
2	Quando o solo se encontra com armazenamento correspondente ao armazenamento crítico [$Arm = (1-p) CAD$], a evapotranspiração real é igual à máxima.
3	Quando o solo se encontra em secagem, com umidade próxima à correspondente à do ponto de murchamento permanente (armazenamento disponível quase nulo), admite-se que a variação da taxa de perda é decrescente, e mínima (nula) quando o armazenamento disponível é nulo.
4	Quando o solo se encontra em molhamento, com umidade próxima à correspondente à crítica (armazenamento disponível crítico), admite-se que a variação da taxa de perda é decrescente, e mínima (nula) quando o armazenamento disponível é crítico.
5	Quando o solo se encontra em molhamento, a variação da taxa de perda de água no solo em função do armazenamento é crescente na faixa muito seca de umidade e decrescente na faixa de transição.
6 e 7	É possível a dedução da equação referente ao negativo acumulado em função do armazenamento (ser integrável com solução no campo dos números reais).
8	É possível inverter a equação referente ao negativo acumulado em função do armazenamento.
9	O negativo acumulado é numericamente igual à fração da capacidade de água disponível quando o armazenamento é crítico.
10	O negativo acumulado tende a valores grandes (infinito) quando a umidade tende à correspondente ao ponto de murchamento permanente.
11	No ponto inicial da zona seca, ponto limítrofe entre as zonas seca e ótima de umidade, a variação do negativo acumulado, por unidade de armazenamento disponível, é igual à da zona ótima de umidade.
12	Na zona seca de umidade, a variação do negativo acumulado, por unidade de armazenamento disponível, é sempre inferior à da zona ótima de umidade.
13	Na zona seca de umidade, a variação do negativo acumulado, por unidade de armazenamento disponível, é sempre crescente.
14	O fator de água disponível proposto por Rijtema & Aboukhaled (1975) é considerado.

Quadro 2. Condições necessárias para aceitação do modelo matemático para previsão do armazenamento de água no solo

Condição ⁽¹⁾	Condição para aceitação	Equação
1	$\frac{dB}{dt} (Arm = 0) = 0$	(3)
2	$\frac{dB}{dt} (Arm = (1-p)CAD) = K$	(4)
3	$\frac{d(\frac{dB}{dt})}{dArm} (Arm = 0) = 0$	(5)
4	$\frac{d(\frac{dB}{dt})}{dArm} (Arm = (1-p)CAD) = 0$	(6)
5 ⁽²⁾	$\frac{d^2(\frac{dB}{dt})}{dArm^2} = 0$	(7)
6	possuir integral conhecida	
7	possuir solução real	
8	função invertível	
9	$L[Arm = (1-p)CAD] = pCAD$	(8)
10	$\lim L$ $Arm \rightarrow 0 = \infty$	(9)
11	$\frac{dL}{dArm} (Arm = (1-p)CAD) = -1$	(10)
12	$\frac{dL}{dArm} (0 < Arm < (1-p)CAD) < -1$	(11)
13	$\frac{d^2L}{dArm^2} (0 < Arm < (1-p)CAD) > 0$	(12)
14	fator de água disponível considerado	

(1) Condições 1 a 5: referentes à hipótese basilar; e condições 6 a 13: referentes ao negativo acumulado. (2) Deve ser verificada a existência de apenas um ponto de inflexão no seguinte intervalo: $0 < Arm < (1-p)CAD$

etros 1 e 2 - tem-se, utilizando um modelo co-senoidal, que, na faixa seca de umidade, a taxa de perda de água pode ser descrita pela seguinte função:

$$\frac{dB}{dt} = \frac{K}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi \cdot Arm}{(1-p)CAD} \right) \right] \quad (13)$$

Adotando, num instante inicial, que o armazenamento seja o armazenamento crítico (ponto limítrofe entre as faixas seca e ótima de umidade), tem-se que:

$$\frac{dB}{dt} = K \quad (14)$$

Sendo L a perda de água num intervalo de tempo T , verifica-se que:

$$\lim_{T \rightarrow 0} \left(\frac{dB}{dt} \right) = \frac{L}{T} = K \quad (15)$$

Sendo assim:

$$\frac{dB}{dt} = \frac{L}{2T} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi \cdot Arm}{(1-p)CAD} \right) \right] \quad (16)$$

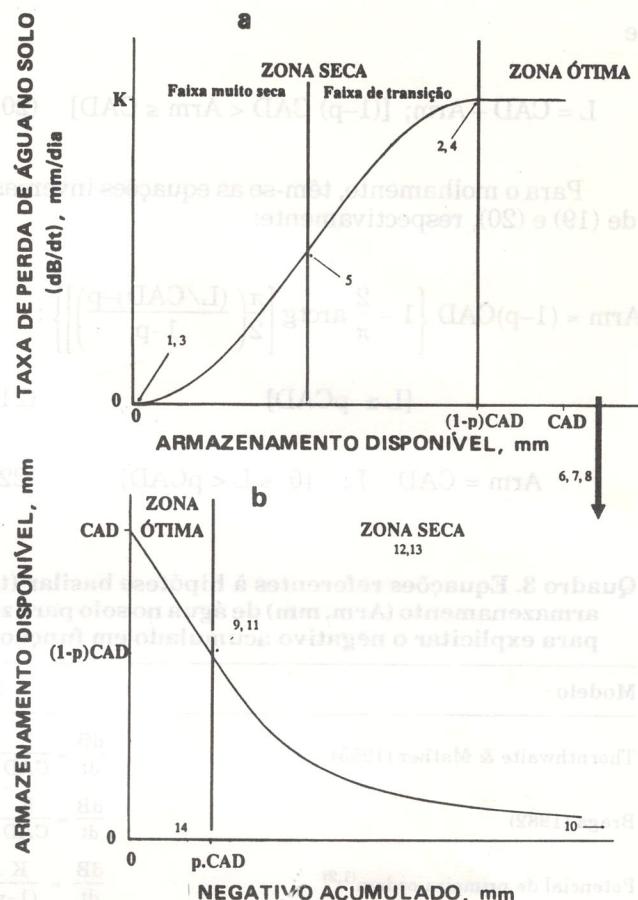


Figura 1. Representação esquemática das quatorze condições (numeradas de 1 a 14) - Quadros 1 e 2 - indicadas pelas setas, necessárias à aceitação de equações que estimem: (a) variação da taxa de perda de água no solo (dB/dt , mm/periódico) em função do armazenamento (Arm , mm); (b) armazenamento em função do negativo acumulado (L , mm), onde p é o fator de água disponível (Rijtema & Aboukhaled, 1975); CAD, a capacidade de água disponível (mm) e K , a taxa de perda máxima de água (mm/periódico).

$$Arm = (1-p)CAD - B \quad (17)$$

Substituindo-se (17) em (16) e rearranjando os termos de forma conveniente à integração, tem-se que:

$$\int_0^B \left[1 + \cos \left(\frac{\pi \cdot B}{(1-p)CAD} \right) \right]^{-1} dB = \frac{L}{2T} \int_0^T dt \quad (18)$$

Resolvendo a expressão (18) e reescrevendo-a de forma que haja coerência na estimativa do negativo acumulado em função do armazenamento no ponto limítrofe das zonas ótima e seca de umidade, e em toda a zona seca, tem-se, para secagem, que:

$$L = CAD \left\{ p + \frac{2}{\pi} (1-p) \operatorname{tg} \left[\frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{Arm}{(1-p)CAD} \right) \right] \right\}; \quad [0 \leq Arm \leq (1-p) CAD] \quad (19)$$

e

$$L = CAD - Arm; [(1-p) CAD < Arm \leq CAD] \quad (20)$$

Para o molhamento, têm-se as equações inversas de (19) e (20), respectivamente:

$$Arm = (1-p)CAD \left\{ 1 - \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \left[\frac{\pi}{2} \left(\frac{(L/CAD)-p}{1-p} \right) \right] \right\};$$

[L ≥ pCAD] (21)

$$\text{Arm} = \text{CAD} - L; \quad [0 \leq L < p\text{CAD}] \quad (22)$$

Quadro 3. Equações referentes à hipótese basilar (taxa de perda de água (dB/dt, mm/ período) em função do armazenamento (Arm, mm) de água no solo para zona seca de umidade), que possuem integração conhecida para explicitar o negativo acumulado em função do armazenamento

Derivando as equações (21) e (22) em relação ao negativo acumulado, tem-se, respectivamente, que:

$$\frac{d\text{Arm}}{dL} = - \left\{ 1 + \left[\frac{\pi \cdot [(L/\text{CAD}) - p]}{2(1-p)} \right]^2 \right\}^{-1}; \quad (L \geq p\text{CAD}) \quad (23)$$

$$\frac{d\text{Arm}}{dL} = -1; \quad (0 \leq L \leq p\text{CAD}) \quad (24)$$

Nos quadros 3 e 4, encontram-se outros modelos (hipóteses basilares) para a descrição do processo de perda de água do solo em função do armazenamento disponível, onde podem ser checadas as condições 1 e 2.

Modelo	Expressão	Equação
Thornthwaite & Mather (1955)	$\frac{dB}{dt} = \frac{K}{CAD} \cdot Arm \quad (25)$	
Braga (1982)	$\frac{dB}{dt} = \frac{K}{CAD} \cdot Arm \quad (26)$	
Potencial de primeira ordem ^(1,2)	$\frac{dB}{dt} = \frac{K \cdot Arm}{(1-p)CAD} \quad (27)$	
Potencial de segunda ordem ⁽²⁾	$\frac{dB}{dt} = K \left\{ \frac{2 \cdot Arm}{(1-p)CAD} - \frac{Arm^2}{[(1-p)CAD]^2} \right\} \quad (28)$	
Potencial de terceira ordem ⁽²⁾	$\frac{dB}{dt} = K \left\{ \frac{3 \cdot Arm}{(1-p)CAD} - \frac{3 \cdot Arm^2}{[(1-p)CAD]^2} + \frac{Arm^3}{[(1-p)CAD]^3} \right\} \quad (29)$	
Cúbico	$\frac{dB}{dt} = K \left\{ \frac{3 \cdot Arm^2}{[(1-p)CAD]^2} - \frac{2 \cdot Arm^3}{[(1-p)CAD]^3} \right\} \quad (30)$	
Logarítmico	$\frac{dB}{dt} = K \left\{ \frac{(1-p) \cdot CAD \cdot e}{(e-1)Arm + (1-p)CAD} \right\} \ln \left[\frac{Arm(e-1)}{(1-p)CAD} + 1 \right] \quad (31)$	
Co-senoidal	$\frac{dB}{dt} = \frac{K}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\pi \cdot Arm}{(1-p)CAD} \right) \right] \quad (32)$	

⁽¹⁾ Rijtema & Aboukhaled (1975). ⁽²⁾ Pertence à família das potenciais: $\frac{dB}{dt} = K \cdot \sum_{i=1}^n \frac{(-1)^{i+1} \cdot C_n \cdot i \cdot A_{ni}^i}{[(1-p)CAD]^i}$

Quadro 4. Equações referentes à hipótese basilar (taxa de perda de água (dB/dt, mm/periodo) em função do armazenamento (Arm, mm) de água no solo para zona seca de umidade), que não possuem integração conhecida para explicitar o negativo acumulado em função do armazenamento

Modelo	Expressão	Equação
Potencial de primeira ordem-senoideal	$\frac{dB}{dt} = K \left\{ \frac{Arm}{(1-p)CAD} - \frac{1}{2\pi} \sin \left[\frac{2\pi Arm}{(1-p)CAD} \right] \right\}$	(32)
Potencial de segunda ordem-senoideal	$\frac{dB}{dt} = \frac{\pi K}{4-\pi} \left\{ \frac{Arm^2}{(1-p)^2 CAD^2} - \frac{2Arm}{(1-p)CAD} + \frac{4}{\pi} \sin \left[\frac{\pi Arm}{2(1-p)CAD} \right] \right\}$	(33)
Senoidal-quadrático	$\frac{dB}{dt} = K \sin \left[\frac{\pi Arm^2}{2(1-p)^2 CAD^2} \right]$	(34)
Senoidal-logarítmico	$\frac{dB}{dt} = \frac{K}{2} \left\{ 1 + \sin \left[\ln \left(e^{-\pi/2} + \frac{2 \operatorname{senh}(\pi/2) Arm}{(1-p)CAD} \right) \right] \right\}$	(35)

Analogamente, utilizou-se para a elaboração das hipóteses basilares desses outros modelos o procedimento descrito para o co-senoidal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para checagem da terceira, quarta e quinta condições, foi deduzida a expressão, referente a cada modelo, da primeira e segunda derivadas, respectivamente, da equação referente à taxa de perda de água em função do armazenamento. Para checar a oitava condição, verificou-se a possibilidade de expressar o armazenamento em função do negativo acumulado. Para averiguar a décima-primeira, décima-segunda e décima-terceira condições, foi deduzida a primeira e segunda derivadas do negativo acumulado em função do armazenamento (Dourado Neto & Jong Van Lier, 1992).

Para checagem da sexta, sétima, nona e décima condições, deduziu-se a equação referente ao negativo acumulado em função do armazenamento de água no solo - Quadro 5.

O resultado de todas as checagens acha-se no quadro 6.

O objetivo de propor equações para estimativa da variação temporal do armazenamento de água no solo é prever, no intuito de orientar tomada de decisões. Teoricamente, a fase atmosfera condiciona as mudanças nas fases solo e planta. Nesse caso, dependendo do atributo em estudo, o tempo de resposta é infinito, porém está implícito que, em modelos estatísticos, há erro de estimativa associado.

O fator de água disponível (p) viabiliza a consideração das três fases do sistema agrícola (solo, planta e atmosfera). Esse fator é dependente da espécie vegetal e da demanda evapotranspirativa, definindo

o armazenamento crítico. Acima desse armazenamento, na zona ótima de umidade, não há diminuição da evapotranspiração e do rendimento agrícola. Abaixo dele, na zona seca de umidade, há decréscimo de rendimento devido ao fechamento de estômatos que causa a redução das trocas gasosas (água e dióxido de carbono principalmente), resultando na diminuição da evapotranspiração.

A aceitação da proposição de Rijtema & Aboukhaled (1975) implica a necessidade de reformular a estimativa do armazenamento de água no solo em função do negativo acumulado, tanto na zona ótima como na zona seca de umidade. Com essa finalidade, Rijtema & Aboukhaled (1975) e Braga (1982) propuseram equações que, apesar de serem contínuas no ponto limítrofe entre as zonas seca e ótima de umidade, não satisfazem a outras condições básicas.

As quatorze condições necessárias à aceitação do modelo de previsão do armazenamento de água no solo foram checadas - Quadro 6. Essa checagem serve de subsídio para escolha do modelo.

Na zona seca de umidade, a partir do armazenamento disponível nulo, o comportamento da taxa de perda de água do solo, em função do armazenamento disponível, é sigmoidal ascendente - Figura 1a, onde a variação da evapotranspiração é crescente na faixa muito seca e decrescente na faixa de transição (condições 1, 2, 3 e 4).

Na faixa muito seca de umidade esse comportamento, na parte côncava da sigmoidal ascendente, é esperado porque, partindo do ponto de murchamento permanente, à medida que o teor de água no solo aumenta, aumentam a condutividade hidráulica, de forma exponencial, e o gradiente de potencial total e, consequentemente, a transmissão de água pelo solo às raízes. Nessa faixa, a densidade de fluxo no

Quadro 5. Equações referentes ao negativo acumulado (L , mm) em função do armazenamento (Arm , mm), para a zona seca de umidade

Modelo	Expressão	Equação
Thorntwaite & Mather (1955)	$L = -CAD \cdot \ln \left(\frac{Arm}{CAD} \right)$	(36)
Braga (1982)	$L = CAD \cdot \left[p - \ln \left(\frac{Arm}{(1-p) \cdot CAD} \right) \right]$	(37)
Potencial de primeira ordem	$L = CAD \cdot \left[p - (1-p) \cdot \ln \left(\frac{Arm}{(1-p) \cdot CAD} \right) \right]$	(38)
Potencial de segunda ordem	$L = CAD \cdot \left[\frac{(1-p)}{2} \ln \left(\frac{Arm}{2(1-p) CAD - Arm} \right) + p \right]$	(39)
Potencial de terceira ordem ⁽²⁾	$L = CAD \cdot \left\{ \frac{(1-p)}{-3} \left[\frac{1}{2} \ln \left(\frac{Arm^2}{X} \right) + \sqrt{3} \left[\frac{\pi}{6} + \arctg \left(\frac{2Arm\sqrt{3}}{3(1-p) CAD} - \sqrt{3} \right) \right] \right] + p \right\}$	(40)
Logarítmico ⁽³⁾	$L = CAD \cdot \left\{ \frac{(1-p)}{(1-e)e} \left[\ln A + 2A + A^2 + \frac{4}{9} A^3 + \frac{1}{6} A^4 - \frac{65}{18} \right] + p \right\}$	(41)
Co-senoidal	$L = CAD \cdot \left\{ p + \frac{2}{\pi} \cdot (1-p) \cdot \operatorname{tg} \left[\frac{\pi}{2} \cdot \left(1 - \frac{Arm}{(1-p) \cdot CAD} \right) \right] \right\}$	

⁽¹⁾ Rijtema & Aboukhaled (1975). ⁽²⁾ $X = Arm^2 - 3(1-p)CAD \cdot Arm + 3(1-p)^2 CAD^2$. ⁽³⁾ $A = \ln \left(\frac{Arm \cdot (e-1)}{(1-p) \cdot CAD} + 1 \right)$

solos limita o processo de absorção de água pelo sistema radicular, o que resulta na diminuição da transpiração, fazendo com que a conformação da curva referente à taxa de perda de água em função do armazenamento disponível seja semelhante à da condutividade hidráulica em função da umidade. Pela

baixa umidade, o processo de perda de água pelo solo por evaporação também é reduzido.

Na faixa de transição, esse comportamento, na parte convexa da sigmoidal ascendente, é esperado em vista do mecanismo de abertura e fechamento de

Quadro 6. Checagem das quatorze condições necessárias à aceitação do modelo de previsão do armazenamento de água no solo

Modelo	Condição ⁽¹⁾													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Thornthwaite & Mather (1955)	S	S	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	N
Braga (1982)	S	N	N	N	N	S	S	S	S	S	N	S	S	S
Potencial de primeira ordem ⁽²⁾	S	S	N	N	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Potencial de segunda ordem	S	S	N	S	N	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Potencial de terceira ordem	S	S	N	S	N	S	S	N	S	S	S	S	S	S
Cúbico	S	S	S	S	S	S	N	* ⁽³⁾	*	*	*	*	*	S
Logarítmico	S	S	N	S	N	S	S	N	S	S	N ⁽⁴⁾	N ⁽⁴⁾	S	S
Co-senoidal	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Potencial de primeira ordem-senoidal	S	S	S	S	S	N	— ⁽⁵⁾	—	—	—	—	—	—	S
Potencial de segunda ordem-senoidal	S	S	S	S	S	N	—	—	—	—	—	—	—	S
Senoidal-quadrático	S	S	S	S	S	N	—	—	—	—	—	—	—	S
Senoidal-logarítmico	S	S	S	S	S	N	—	—	—	—	—	—	—	S

(1) Números referentes às condições descritas nos quadros 1 e 2: S: condição satisfeita, N: condição não satisfeita. (2) Rijtema & Aboukhaled (1975).

(3) Não checada por não satisfazer à condição 7 - Quadros 1 e 2. (4) $\frac{dL}{d\text{Arm}} [\text{Arm} - (1-p)\text{CAD}] = -\frac{7}{e^2} \approx -0,95$. (5) Checagem impossibilitada por não satisfazer à condição 6 - Quadros 1 e 2.

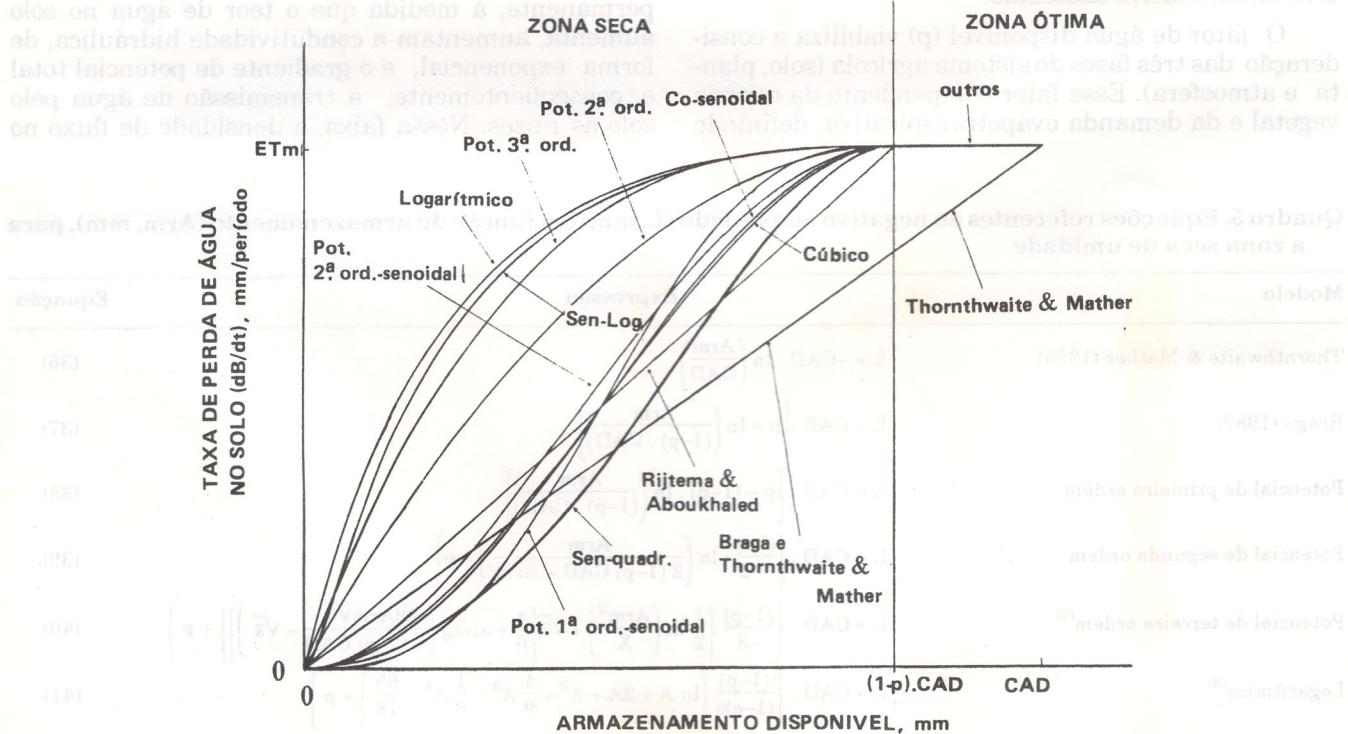


Figura 2. Representação gráfica da variação da taxa de perda de água no solo (dB/dt, mm/periodo) em função do armazenamento (Arm, mm) para as doze equações - Quadros 3 e 4 - onde p é o fator de água disponível (Rijtema & Aboukhaled, 1975); CAD, a capacidade de água disponível (mm) e ETm, a evapotranspiração ótima da cultura de interesse (mm/periodo).

estômatos não ter resposta instantânea às mudanças de fatores da fase atmosfera, fazendo com que a conformação da curva referente à taxa de perda de água em função do armazenamento disponível seja côncava.

Conforme Rijtema & Aboukhaled, (1975), tem-se que:

$$ETa = \frac{Arm}{(1-p) CAD} \quad ETm = - \frac{dArm}{dt}; \quad [0 \leq Arm \leq (1-p) CAD] \quad (42)$$

$$ETa = ETm = - \frac{dArm}{dt}; \quad [(1-p)CAD < Arm \leq CAD] \quad (43)$$

Sendo assim, verifica-se facilmente que:

$$Arm = (1-p) CAD \cdot e^{-\frac{[ETm \cdot T - pCAD]}{(1-p) CAD}}; \quad (44)$$

[ETm.T \geq pCAD]

$$K = ETm \quad (45)$$

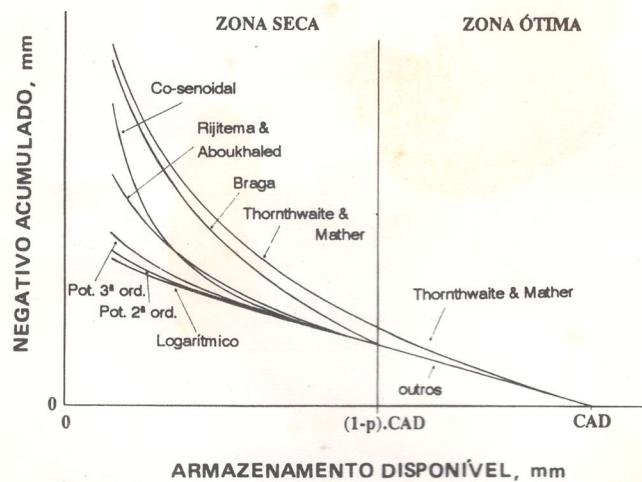


Figura 3. Representação esquemática do negativo acumulado (L , mm) em função do armazenamento disponível (Arm , mm), correspondente às sete equações - Quadro 5 - que satisfizeram às condições 6 e 7 - Quadros 1 e 2 - onde p é o fator de água disponível (Rijtema & Aboukhaled, 1975) e CAD , a capacidade de água disponível (mm).

$$L = ETm \cdot T \quad (46)$$

onde ETm se refere à evapotranspiração (mm/periódico) ótima da cultura de interesse.

Foram confeccionados gráficos para melhor visualização do comportamento dos modelos referentes à taxa de perda de água e do negativo acumulado em função do armazenamento - Figuras 2 e 3 respectivamente.

CONCLUSÃO

Em função da análise dos modelos discutidos, levando em consideração as quatorze condições estabelecidas, concluiu-se que o modelo co-senoidal é o que deve melhor estimar o valor do armazenamento de água no solo, sendo, portanto, recomendada sua utilização em cálculos referentes ao balanço hídrico.

LITERATURA CITADA

BRAGA, H.J. Caracterização da seca agronômica através de novo modelo de balanço hídrico, na região de Laguna, litoral sul do Estado de Santa Catarina. USP/ESALQ, Piracicaba, 1982. 157p. (Tese de Mestrado)

DOURADO NETO, D. & JONG VAN LIER, Q. de. Proposta de uma nova equação para estimativa do armazenamento de água no solo para realização de balanço hídrico. Piracicaba, Departamento de Agricultura, ESALQ, USP, 1992. 25p. (Apostila do Curso de Pós-Graduação referente à disciplina Agricultura Irrigada)

RIJTEMA, P.E. & ABOUKHALED, A. Crop water use. In: ABOUKHALED, A.; ARAR, A.; BALBA, A.M.; BISHAY, B.G.; KADRY, L.T.; RIJTEMA, P.E. & TAHER, A. Research on crop water use, salt affected soils and drainage in the Arab Republic of Egypt. FAO Regional Office for the Near East, 1975. p.5-61.

THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. The water balance. Centeron, Drexel Institute of Technology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, v.8, n.1)