

BALANÇO HÍDRICO NO SOLO CULTIVADO COM MANGUEIRAS

Vicente de Paulo Rodrigues da Silva¹, Pedro Vieira de Azevedo¹, Bernardo Barbosa da Silva¹, Luiz Henrique Basso², Antônio Heriberto de Castro Teixeira², José Monteiro Soares², José Espínola Sobrinho³

¹Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Departamento de Ciências Atmosféricas, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó, Cep: 58 109-970, Campina Grande, PB, e-mail:vicente@dca.ufpb.br

²Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Semi-Árido

³Escola Superior de Agricultura de Mossoró - ESAM

ABSTRACT

The experimental part of the present research was conducted in the irrigated perimeter of Bebedouro, Petrolina, PE, Brazil (Latitude: 09°09`S, Longitude: 40°22`W; altitude: 365.5m) in the years of 1998 and 1999, in a dripping irrigated plot area of 9,880 m² seven years old mango orchard, cv. 'Tommy Atkins', planted in a spacing of 5m between plants by 8m between arrays. This work evaluated the efficiency of the soil water balance for determining the evapotranspiration throughout the mango orchard productive cycle. The errors analysis indicated that, for the submedian San Francisco river region soil and climate conditions, the soil water balance method for estimating evapotranspiration should not be applied for periods lower than a week. Also, according to the obtained results, the soil water balance method is only efficient in the estimates of the evapotranspiration of mango orchard when considering the term regarding to the deep drainage or water ascent.

1. INTRODUÇÃO

A mangueira (*Mangifera indica*, L.) é originária do Sul da Ásia, mais precisamente da Índia, onde tem sido cultivada há mais de 4.000 anos; posteriormente, foi difundida em outras partes do mundo, inclusive nas Américas, por ser a manga um dos frutos mais ricos em vitaminas A e C (CUNHA *et al.*, 1994).

Vários métodos têm sido utilizados na determinação da demanda hídrica de culturas, com suas características próprias quanto aos parâmetros necessários à sua estimativa. Conforme REICHARDT (1985) o método do balanço hídrico no solo é satisfatório na determinação da evapotranspiração de culturas, visto que o mesmo contabiliza as entradas e saídas de água no volume de controle e indica o volume de água que permanece no solo para atender às necessidades metabólicas das plantas.

Em estudos relacionados com as interações solo-planta, o conhecimento do movimento de água no perfil do solo, drenagem profunda, movimentos de poluentes e o ajuste da curva de retenção para determinar a função condutividade hidráulica do solo, são parâmetros essenciais na elaboração do balanço hídrico (VIEIRA & CASTRO, 1987; PAULETTO *et al.*, 1988).

ANDRADE *et al.* (1988) determinaram as componentes do balanço de água num Latossolo Vermelho-Escuro Álico, fase cerrado, cultivado com milho, com irrigação por aspersão. A evapotranspiração da cultura foi comparada à evapotranspiração de referência, visando à determinação do coeficiente de cultura. Eles concluíram que a técnica de separação dos fluxos e de drenagem profunda, utilizando-se perfis de umidade e de potencial total de água no solo, mostrou-se confiável nos períodos de déficit hídrico, falhando nos períodos chuvosos, quando ocorrem aumentos no armazenamento de água no solo.

VILLAGRA *et al.* (1995) analisando os efeitos da variabilidade da água armazenada no solo, gradiente hidráulico, condutividade hidráulica e densidade de fluxos de água no solo no cálculo da evapotranspiração através do balanço hídrico no solo, verificaram o seguinte: (i) que a variabilidade desses parâmetros confere um coeficiente de variação na ordem de 40% no cálculo da evapotranspiração da cultura, e (ii) os métodos aerodinâmicos e empíricos são mais eficientes nas estimativas de evapotranspiração em áreas de grande variabilidade das características hidráulicas do solo.

PLAUBORG (1995) quando comparou a evapotranspiração diária obtida por sonda de nêutrons e microlisímetros, observou que este último não se aplica para períodos com alta precipitação e que a evaporação do solo é muito importante no cálculo do balanço hídrico no solo, principalmente em regiões áridas e semi-áridas, onde ocorrem grandes perdas de água diretamente do solo, e menos importante em áreas úmidas devido às frequentes precipitações.

MASTROILLI *et al.* (1998) obtiveram a evapotranspiração de cultivos de sorgo e milho, em escala diária, utilizando os balanços de energia e hídrico no solo. O conteúdo de água no solo foi determinado gravimetricamente e através de TDR (*Time Domain Reflectometry*). Com base nesse estudo concluíram que o método do balanço de

energia pode ser usado como referência, pois oferece medições contínuas e precisas da evapotranspiração da cultura.

Comparando diferentes métodos de estimativa da condutividade hidráulica do solo, vários pesquisadores, dentre eles, BACCHI *et al.* (1991); BACCHI & REICHARDT (1992); PREVEDELLO *et al.* (1995) e LIBARDI *et al.* (1995) verificaram que os mesmos se mostraram equivalentes quando comparados com o modelo de van Genuchten (1980).

Baseando-se no conhecimento do comportamento da curva de retenção de água no solo, van GENUCHTEN (1980) propôs um modelo estatístico para descrição matemática da relação funcional entre o teor de água no solo, em base de volume (m^3/m^3), e o potencial matricial (Pa); face à sua precisão e relativa facilidade operacional, esse modelo tem sido usado por diversos pesquisadores (van LIER & DOURADO NETO; 1993; LIBARDI, 1995; PREVEDELLO *et al.*, 1995).

CENTURION *et al.* (1997) determinaram a curva de retenção de água no solo pelos métodos da câmara de pressão de Richards, clássico da centrífuga e centrífuga adaptada, em amostras de Latossolos e Podzólicos. Constataram que os valores da umidade obtidos pelos diferentes métodos, nas tensões aplicadas, correlacionaram-se de maneira altamente significativa.

Segundo PAPAKYRIAKOU & MaCAUGHEY (1991) medições tensiométricas são úteis na estimativa do gradiente de potencial hidráulico em condições de solo próximo à saturação e a magnitude e direção do fluxo de água na zona das raízes são função da condutividade hidráulica insaturada do solo, assim como da magnitude e direção do gradiente do potencial de água na base da zona de raízes das plantas.

PREVEDELLO *et al.* (1995) estudando a condutividade hidráulica da areia marinha por meio da técnica do perfil instantâneo (método direto) e pelo modelo de van Genuchten (método indireto) verificaram que os dois métodos apresentaram resultados similares, porém o último mostrou maior facilidade de aplicação e menor exigência de material. O método do perfil instantâneo foi também comparado com o método proposto por BACCHI & REICHARDT (1992) o qual se baseia na estimativa da condutividade hidráulica em um conjunto de perfis de solo e no conhecimento dos respectivos potenciais matriciais. Eles concluíram, também, que esse método se apresenta como uma proposta simplificada para avaliação da condutividade hidráulica.

WHALLEY *et al.* (1994) estabeleceram um método combinado com tensiômetros e TDR para produzir dados que permitem determinar a condutividade hidráulica do solo, com base no perfil instantâneo. Segundo LOBATO *et al.* (1998) dentre as propriedades físicas do solo a condutividade hidráulica merece destaque dada a sua relevância em projetos de irrigação, disposição de resíduos líquidos e conservação do solo.

O presente trabalho objetivou determinar a evapotranspiração de um pomar de mangueiras, cv. 'Tommy Atkins', com base no método de balanço hídrico no solo, utilizando-se medições tensiométricas, e avaliar a eficiência do método quando aplicado para períodos diferenciados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi realizada no perímetro irrigado do Projeto Bebedouro, na Estação Experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semi-Árido) no município de Petrolina, PE. A pesquisa foi conduzida durante o ciclo produtivo do pomar de mangueiras nos anos de 1998 (julho a dezembro) e 1999 (junho a novembro). A parcela ocupada pelo mangueiral corresponde a uma área de 9.880 m² com plantas dispostas num espaçamento de 5m entre plantas por 8m entre fileiras.

O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo, com lençol freático localizado a 2,5m de profundidade. De acordo com ÁVILA NETTO (1997) a maior concentração de areia (74,87%) encontra-se na camada de 0-20cm, apresentando ligeira tendência decrescente até a profundidade de 80cm. Por sua vez, nas camadas de 0-40cm, 60-80cm e 100-120cm o solo foi classificado com franco-arenoso e, nas camadas de 40-60cm e 80-100cm, como franco-argilo-arenoso.

O pomar de mangueiras utilizado na condução dos experimentos foi irrigado com base nas observações da evaporação do Tanque "Classe A" e num coeficiente de cultura de 0,75, em 1998, e de 1,0, em 1999. No ano de 1998 foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento com duas linhas de emissores espaçadas 1,2m e vazão de 3,1 l/h, enquanto em 1999 foi utilizado o mesmo sistema de irrigação, porém com as linhas de emissores espaçadas 1,8m e vazão de 4,1 l/h. Em 1998, a lâmina d'água foi aplicada ao solo de forma contínua no período matinal, enquanto em 1999 se aplicou metade pela manhã e metade à tarde. Foram estudados os seguintes estádios do ciclo produtivo do pomar de mangueiras, compreendidos entre a indução floral e a colheita: floração, queda, formação e maturação de frutos.

Em 1999 foram montadas seis baterias de tensiômetros sob a copa de duas plantas, distanciadas 0,5m do tronco da planta e espaçadas 1,17m, nas profundidades de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 e 220cm, no entanto, em 1998 foram instaladas apenas duas baterias de tensiômetros nas mesmas profundidades.

Em 1998, as leituras tensiométricas foram realizadas diariamente, de segunda a sexta-feira, às 8:00h, enquanto em 1999 realizaram-se três observações diárias, nos horários das 7:00, 12:00 e 17:00h, e a fenologia do pomar de mangueiras monitorada pela anotação das alterações no desenvolvimento vegetativo da planta. O índice de área foliar (IAF) foi avaliado mensalmente, com base na medição direta da largura e no comprimento de cinco amostras de cem folhas, selecionadas aleatoriamente na base, meio e topo do dossel vegetativo de uma planta representativa do pomar. Essas informações foram incorporadas ao modelo proposto por AZEVEDO *et al.* (1999) para avaliar a evolução do IAF ao longo do ciclo produtivo do pomar de mangueiras. A variação do fator de recobrimento do solo pela área foliar da planta foi também determinada mensalmente, com base no diâmetro médio da projeção da copa das árvores no solo.

Apesar da manutenção rotineira, os tensiômetros freqüentemente saíram da faixa de funcionamento e apresentaram observações absolutamente inconsistentes durante alguns dias até a reparação dos instrumentos. Com vista à eliminação desses valores, em 1999 foi aplicado um filtro com base no desvio-padrão (σ_j) das séries das observações tensiométricas de cada profundidade (x_j), ou seja, foram eliminadas as observações em que $-1,5 \sigma_j \leq x_j \leq 1,5 \sigma_j$ de todas as profundidades das seis baterias de tensiômetros nos horários de observação.

Na elaboração do balanço hídrico no solo (BH) em 1999, foi utilizada a série média das 7:00h, e no cálculo da Drenagem/Ascensão capilar (D/A) as séries dos três horários integradas no período das 7:00 às 12:00h, das 12:00 às 17:00h, das 17:00 às 7:00h do dia seguinte e no período de elaboração do balanço maior que um dia.

De acordo com a altura do lençol freático e face à presença de drenos instalados no interior da parcela, o balanço hídrico no solo foi realizado, em 1999, na profundidade de 180cm. No entanto, como em 1998 o sistema de drenagem se encontrava obstruído e o lençol freático mais elevado que em 1999, o balanço hídrico foi realizado na profundidade de 160cm. O período de realização dos balanços foi determinado em função da disponibilidade de dados, o qual, em 1998, foi predominantemente no período de uma semana e, em 1999, para períodos que variaram de um a sete dias.

O balanço hídrico no solo (BH) foi elaborado com base na expressão (LIBARDI, 1995):

$$Pr + I \pm D/A \pm \Delta h \pm R - ET_c = 0 \quad (2.1)$$

em que ET_c é a evapotranspiração da cultura, Pr é a precipitação pluvial, I é a irrigação, Δh é a variação no armazenamento de água no perfil do solo, R é o escoamento superficial e D/A a drenagem profunda ou ascensão capilar. Todos os termos da Equação (2.1) são expressos em milímetros por unidade de tempo. O escoamento superficial foi considerado nulo, visto que a topografia do terreno era plana, sendo que Pr foi medida com pluviômetro, I através do controle de irrigação e Δh com base no perfil de umidade do solo. A Equação (2.1) é baseada no princípio de conservação de massa através da qual, segundo SINGH & CHAUHAN (1996) quando aplicada para um período de tempo específico, é possível determinar-se as componentes do ciclo hidrológico no sistema solo-planta. O volume de controle considerado para elaboração do balanço hídrico correspondeu à camada de solo, compreendida entre a superfície e a máxima profundidade efetiva do sistema radicular. De acordo com as trincheiras abertas no interior da parcela em 1998 e 1999, observou-se grande concentração de raízes, até 2m de profundidade.

Na determinação da curva de retenção de água e densidade aparente do solo, utilizou-se um trado na extração de amostras de solo, nas profundidades de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 e 220cm. Essas amostras foram colocadas numa panela de pressão (câmara de Richards) para obtenção da quantidade de água retida no solo, nas pressões de 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0; 5,0 e 15atms. A extração da umidade das amostras, em estufa a temperatura de 105 °C, e a densidade aparente do solo, foram realizadas no laboratório da Embrapa Semi-Árido, em Petrolina, PE.

No interior da parcela estudada em 1999 foi aberta uma trincheira com 2,3m de profundidade, 1,0m de largura e 2,0m de comprimento, para extração de amostras indeformadas de solo, com três repetições, nas profundidades de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200 e 220 cm. Na profundidade máxima da trincheira não foi constatada presença d'água, face à existência de drenos instalados no interior da parcela para manutenção da profundidade do lençol freático. As amostras de solo foram utilizadas na determinação da condutividade hidráulica saturada, com permeâmetro de carga constante, no Laboratório de Salinidade e Irrigação da Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande, PB; uma outra trincheira de 30cm de profundidade, 30m de largura e 4,5 m de comprimento, também foi aberta no ano de 1999, entre duas plantas, para determinação do diâmetro da área molhada, provocado pelo sistema de irrigação utilizado.

O fluxo descendente (D) ou ascendente (A) cruzando o limite inferior do volume de controle, foi obtido pela equação de Darcy-Buckingham, escrita para fluxo vertical, como (LIBARDI, 1995):

$$D/A = - \left[\bar{K}(\mathbf{q}) \frac{\partial \mathbf{f}_t}{\partial Z} \right] \quad (2.2)$$

em que D/A é a densidade de fluxo da água no solo (quantidade de água que atravessa a unidade de área por unidade de tempo, em milímetros), $\bar{K}(\mathbf{q})$ a condutividade hidráulica média do solo (capacidade do solo em transferir água, em cm/dia), $\partial \mathbf{f}_t / \partial Z$ gradiente vertical do potencial hidráulico (força propulsora que faz a água mover-se verticalmente no solo, em cm/cm), \mathbf{f}_t potencial total de água no solo (cm de água) e Z(cm) a coordenada vertical.

O conteúdo de umidade no solo (em base volumétrica) foi obtida pela expressão (van GENUCHTEN, 1980):

$$\mathbf{q} = \mathbf{q}_r + \frac{\mathbf{q}_s - \mathbf{q}}{\left[1 + |\mathbf{a}\mathbf{f}_m|^n \right]^m} \quad (2.3)$$

em que \mathbf{q}_r e \mathbf{q}_s são as umidades volumétricas residual e de saturação, respectivamente, expressas em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, \mathbf{f}_m é o potencial matricial (cm de água), e \mathbf{a} , n e m, são constantes empíricas, determinadas pelo programa Curvaret (DOURADO NETO & van LIER, 1993).

A condutividade hidráulica para o solo não saturado $K(\theta)$ foi determinada pela equação (van GENUCHTEN, 1980):

$$K(\mathbf{q}) = K_0 \mathbf{v}^l \left[1 - \left(1 - \mathbf{v}^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (2.4)$$

em que K_0 é a condutividade hidráulica do solo saturado, $m = 1 - 1/n$, $\mathbf{v} = \frac{\mathbf{q} - \mathbf{q}_r}{\mathbf{q}_s - \mathbf{q}_r}$ e l é um parâmetro empírico que, segundo MUALEM (1976) é igual a 0,5 para a maioria dos solos.

O potencial total de água no solo \mathbf{f}_t foi obtido pela expressão (LIBARDI, 1995):

$$\mathbf{f}_t = \mathbf{f}_m + \mathbf{f}_z \quad (2.5)$$

em que \mathbf{f}_m e \mathbf{f}_z representam, respectivamente, os potenciais matricial e gravitacional de água no solo, ambos em centímetros de água. As componentes de pressão e osmótica não foram consideradas, visto que as mesmas se tornam importantes apenas quando o solo se encontra saturado e a concentração salina é alta (REICHARDT, 1985; du PLESSIS, 1985). A componente gravitacional representa a distância em relação à superfície do solo (cm) e a matricial (cm de água) foi obtida com base nas medições tensiométricas, pela expressão (LIBARDI, 1995):

$$\mathbf{f}_m = - 12,6 h_{Hg} + h_c + h_p \quad (2.6)$$

em que h_{Hg} é a altura da coluna de mercúrio (cm) a partir do nível da cuba, h_c é a altura do nível da cuba em relação ao solo (cm) e h_p é a profundidade da cápsula porosa (cm).

O armazenamento de água no solo foi calculado pela regra do trapézio, considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados desde a superfície ($z = 0$) até a profundidade de interesse ($z = L$) de acordo com a seguinte equação (LIBARDI, 1995):

$$h_L = \int_0^L \mathbf{q}(z) dz = \left[0,50 \mathbf{q}(z_0) + \sum_{i=1}^{n-1} \mathbf{q}(z_i) + 0,50 \mathbf{q}(z_n) \right] \Delta z \quad (2.7)$$

em que \mathbf{q} é a umidade média do perfil do solo considerado (cm^3/cm^3) e Δz a espessura da camada de solo (cm). Assume-se que, pela proximidade em $z = 0$, a umidade é a mesma que em $z = z_1$ e em $z = L$ a mesma que $z = z_n$.

A variação do armazenamento de água no solo (mm) durante os períodos de tempo considerados, foi obtida pela expressão:

$$\Delta h = h_t - h_{t-1} \quad (2.8)$$

em que h_t e h_{t-1} representam os armazenamentos de água no perfil do solo nos instantes t e $t-1$, respectivamente.

A percentagem da área molhada, ao longo de um plano horizontal de 30cm abaixo da superfície do solo, por duas linhas de gotejadores, foi determinada da seguinte forma (KELLER & BLIESNER, 1990):

$$P_w = \frac{N_p S_e' (S_e' + w) / 2}{S_p \times S_r} 100 \quad (2.9)$$

em que P_w é percentagem da área molhada, N_p é número de emissores por planta, S_e' é o espaçamento ótimo entre emissores ($S_e' = 0,80 w$), w é diâmetro da área circular úmida de um único emissor, S_p é espaçamento entre plantas na fileira e S_r é o espaçamento entre fileiras.

Em condições de campo em que $S_e < S_e'$ se substituiu na Equação (3.19) S_e' por S_e , em que S_e é o espaçamento entre emissores ao longo da linha lateral. Todos os termos da Equação (19) são expressos em metro.

O erro atribuído à determinação do balanço hídrico no solo no intervalo de tempo t (ϵ , %) foi obtido pela expressão (MICKSON *et al.*, 1997):

$$\epsilon(\%) = \frac{(ST_0 + \sum_{j=0}^t R_j - \sum_{j=0}^t Q_j - \sum_{j=0}^t ETc_j) - ST_f}{ST_f} \quad (2.10)$$

em que ST_0 e ST_f representam, respectivamente, as umidades armazenadas no solo nos instantes inicial e final, expressas em mm, R_j a precipitação e/ou a irrigação acumulada (mm), Q_j a drenagem acumulada (mm) e ETc_j a evapotranspiração do pomar de mangueiras acumulada (mm) no período de elaboração do balanço.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os coeficientes das funções paramétricas de retenção de água no solo de van GENUCHTEN (1980), condutividade hidráulica saturada e densidade aparente do solo nas profundidades de 20 a 200cm, são exibidos na Tabela 3.1. A condutividade hidráulica saturada do solo, no perímetro irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE, atingiu os maiores valores na camada de solo, compreendida entre 60 e 120cm, variando de 6,77 a 4,09 cm/h. O menor valor encontrado em todo o perfil foi de 1,72 cm/h na profundidade de 180cm e a média foi de 4,27 cm/h. Esses resultados condizem com aqueles obtidos por REICHARDT (1985) em que a condutividade hidráulica saturada é maior em solos saturados devido à presença de poros maiores que em solos não saturados. A densidade aparente do solo apresentou máximos nas profundidades de 20 e 160cm (1,62 g/cm³) e mínimo na profundidade de 140cm (1,46 g/cm³).

As componentes do balanço hídrico no solo dos experimentos de 1998 e 1999 são apresentados nas Tabelas 3.1 e 3.2, respectivamente, com a evapotranspiração corrigida pelo fator de correção (relação entre a área de molhamento e a área de projeção da copa da planta no solo). Esta correção, que em 1998 e 1999 foi, respectivamente, de 0,48 e 0,56, variou em função da vazão dos emissores, distanciamento das linhas de gotejadores e do desenvolvimento vegetativo da planta que, praticamente, não apresentou nenhuma variação ao longo dos experimentos.

Os dados de tensiometria em 1998 não permitiram a determinação do BH no período de floração porém, de acordo com a Tabela 4.7, no período de 25/08 a 23/11/1998, a lâmina de irrigação, somada ao total pluviométrico, resultou em 800,3mm d'água aplicada ao solo, enquanto a evapotranspiração no período foi de 411,4mm. O lençol freático contribuiu com 23,1mm na forma de ascensão capilar, predominantemente no período de 25/08 a 29/09/1998. Após esta data e apesar de pequena, ocorreu percolação até 23/11/1998. A evapotranspiração diária média foi de 4,6 mm/dia, com taxas mínimas no início e no final do período, e máxima de 5,5 mm/dia no estágio fenológico de formação de frutos, que correspondeu ao período de maior desenvolvimento vegetativo das plantas.

Tabela 3.1 - Parâmetros da equação de van Genuchten e propriedades físicas do solo do perímetro irrigado de Bebedouro, em Petrolina, PE

| Profundidades (cm) | Parâmetros de van Genuchten | | | | | Propriedades do solo | |
|-----------------------|-----------------------------|--------|--------|---|---|----------------------------------|-----------------|
| | α | m | n | θ_r (cm ³ /cm ³) | θ_s (cm ³ /cm ³) | ρ_a (g/cm ³) | K_0 (cm/h) |
| 20 | 0,0024 | 0,6936 | 3,2640 | 0,0450 | 0,1270 | 1,62 | 3,93 |
| 40 | 0,1321 | 0,3728 | 1,5945 | 0,0490 | 0,5510 | 1,58 | 3,97 |
| 60 | 0,0030 | 0,6265 | 2,6774 | 0,0610 | 0,1670 | 1,56 | 6,77 |
| 80 | 0,0251 | 0,4426 | 1,7941 | 0,0640 | 0,2930 | 1,49 | 6,65 |
| 100 | 0,0131 | 0,4193 | 1,7220 | 0,0740 | 0,2340 | 1,58 | 5,21 |
| 120 | 0,0111 | 0,4396 | 1,7843 | 0,0720 | 0,2420 | 1,54 | 4,09 |
| 140 | 0,0060 | 0,4962 | 1,9848 | 0,0660 | 0,2000 | 1,46 | 3,22 |
| 160 | 0,0133 | 0,4552 | 1,8356 | 0,0710 | 0,3110 | 1,62 | 3,89 |
| 180 | 0,0194 | 0,4306 | 1,7564 | 0,0710 | 0,3810 | 1,49 | 1,72 |
| 200 | 0,0221 | 0,4709 | 1,8899 | 0,0860 | 0,5010 | 1,58 | 3,33 |

* θ_r e θ_s = Umidades residual e de saturação, ρ_a = Densidade aparente e K_0 condutividade hidráulica saturada do solo

Os valores da evapotranspiração do pomar de mangueiras em 1998 não conferem com aquelas obtidas em 1999 (Tabela 3.3) visto que o período de elaboração do balanço foi mais longo, ou seja, de 31/05 a 15/11/1999, englobando todos os estádios fenológicos do ciclo produtivo do pomar de mangueiras. Além disso, em 1998 as medições tensiométricas foram realizadas apenas uma vez por dia e a drenagem/ascensão capilar calculada para o mesmo período de elaboração do balanço (uma semana) fazendo com que o método apresentasse pouca precisão. O balanço hídrico no solo em 1999, elaborado no mesmo período de tempo de 1998 (90 dias) indicou uma evapotranspiração média de 4,9 mm/dia.

Tabela 3.2 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta A$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A), evapotranspiração do pomar de mangueiras pelo método do balanço hídrico no solo - ET_c (BH), em Petrolina, PE, em 1998

| Período | $-\Delta A$ (mm) | I (mm) | Pr (mm) | D/A (mm) | ET_c (BH) (mm/dia) |
|--------------|---------------------|-------------|------------|-------------|-------------------------|
| 25/08-01/09 | 3,8 | 64,0 | 0,0 | 6,5 | 5,1 |
| 02/09-08/09 | 4,9 | 51,1 | 0,0 | 0,3 | 3,9 |
| 09/09-15/09 | -2,7 | 66,4 | 0,6 | 4,6 | 4,7 |
| 16/09-22/09 | 1,8 | 49,9 | 0,0 | 7,7 | 4,1 |
| 23/09-29/09 | 4,4 | 51,8 | 0,0 | 5,0 | 4,9 |
| 29/09-05/10 | 6,3 | 55,6 | 0,0 | -0,8 | 4,2 |
| 06/10-13/10 | 6,4 | 73,3 | 0,0 | -0,4 | 4,8 |
| 14/10-20/10 | -2,3 | 74,7 | 0,0 | 1,5 | 5,1 |
| 21/10-27/10 | 1,7 | 78,5 | 0,0 | -0,1 | 5,5 |
| 28/10-03/11 | 6,4 | 48,3 | 0,0 | 0,1 | 3,8 |
| 04/11-16/11 | 6,4 | 83,9 | 34,0 | -0,3 | 4,6 |
| 17/11-23/11 | -6,9 | 49,8 | 18,4 | -1,0 | 4,1 |
| Média | 2,5 | 62,3 | 4,4 | 1,9 | 4,6 |

Em 1999, a drenagem profunda totalizou 178,3mm e ascensão capilar apenas 2,7mm, enquanto a média semanal da irrigação foi de 54,5mm. Este aumento da drenagem foi atribuído ao aumento da vazão dos emissores de 3,1 para 4,1 l/h e, do coeficiente de cultura, de 0,75 para 1,0, em 1999. O excesso de água causado pela irrigação e precipitação pluvial em 1999 e não utilizado nos processos metabólicos da planta, foi depositado no lençol freático, através da drenagem profunda.

Em 1999, a evapotranspiração do pomar de mangueiras aumentou sistematicamente de 2,4 mm/dia, no início da floração, quando ainda não tinha sido iniciada a irrigação, para 7,9 mm/dia, no final do estágio fenológico de formação de frutos, decrescendo, em seguida, para atingir 3,5 mm/dia no estágio de maturação de frutos (Tabela 3.3). A drenagem profunda atingiu os valores mais elevados, que variaram de 22,8 a 12,6 mm/semana, com máximo de 31,1 mm/semana, no período de 03 de agosto a 13 de setembro. Os valores elevados da drenagem profunda observados nesse período, foram devidos à baixa demanda energética registrada na região. AVILA

NETTO (1997) encontrou uma contribuição máxima do lençol freático, da ordem de 7,9 mm/semana, nos subperíodos de chubinho e de desenvolvimento de baga da videira cultivada no perímetro irrigado de Bebedouro, Petrolina, PE. Esses valores são conflitantes com aqueles obtidos para a mangueira em 1998 (Tabela 3.2) nas mesmas condições de solo e clima da região do Submédio São Francisco.

Tabela 4.8 - Variação no armazenamento de água no solo ($-\Delta A$), Irrigação (I), Precipitação pluvial (Pr), Drenagem/Ascensão capilar (D/A) e evapotranspiração do pomar de mangueiras pelo método do balanço hídrico no solo - ET_c (BH), em Petrolina, PE, em 1999

| Período | $-\Delta A$ (mm) | I (mm) | Pr (mm) | D/A (mm) | ET_c (BH) (mm/dia) |
|--------------|---------------------|-------------|------------|-------------|-------------------------|
| 31/05-17/06 | 34,0 | 0,0 | 0 | 1,0 | 2,1 |
| 18/06-29/06 | 26,5 | 0,0 | 0 | 0,0 | 2,4 |
| 30/06-12/07 | 6,1 | 25,8 | 0,4 | 1,0 | 2,8 |
| 13/07-19/07 | -18,9 | 55,7 | 1,2 | 0,7 | 3,1 |
| 20/07-26/07 | -22,5 | 64,6 | 0,5 | -5,2 | 3,0 |
| 27/07-02/08 | -14,8 | 75,1 | 0 | -4,1 | 4,5 |
| 03/08-09/08 | -0,9 | 66,1 | 1,1 | -22,6 | 3,5 |
| 10/08-16/08 | 12,7 | 61,1 | 0 | -23,5 | 4,0 |
| 17/08-23/08 | -7,0 | 78,5 | 0,2 | -24,5 | 3,8 |
| 24/08-30/08 | -3,3 | 75,5 | 0 | -31,1 | 3,3 |
| 31/08-06/09 | 12,2 | 81,3 | 0 | -20,2 | 5,9 |
| 07/09-13/09 | 10,4 | 52,7 | 0 | -12,6 | 4,0 |
| 14/09-20/09 | 19,2 | 44,7 | 0 | -7,5 | 4,5 |
| 21/09-27/09 | -1,1 | 34,0 | 30,4 | -3,1 | 4,8 |
| 28/09-04/10 | -3,0 | 54,4 | 0 | -6,4 | 3,6 |
| 05/10-11/10 | 10,2 | 73,9 | 4 | -3,9 | 7,9 |
| 12/10-18/10 | 6,0 | 60,7 | 8 | -3,3 | 5,7 |
| 19/10-25/10 | 1,4 | 71,3 | 0 | -1,8 | 5,7 |
| 26/10-01/11 | -5,8 | 73,2 | 6,3 | -4,3 | 5,5 |
| 02/11-08/11 | 4,4 | 45,3 | 0 | -2,9 | 3,7 |
| 09/11-15/11 | -0,7 | 50,6 | 0 | -1,3 | 3,5 |
| Média | 3,1 | 54,5 | 2,5 | -8,4 | 4,1 |

Em 1998, a ascensão capilar e a drenagem representaram, respectivamente, 3,21 e 0,32% da lâmina total aplicada no mangueiral, através de irrigação e precipitação, enquanto em 1999 o fluxo ascendente foi de 0,23% e a drenagem profunda 16% da lâmina total de água aplicada ao solo. Esses resultados sugerem que a lâmina de irrigação aplicada em 1998 foi insuficiente para atender às necessidades evapotranspiratórias da mangueira; no entanto, em 1999, com $K_c = 1,0$, ocorreu drenagem acentuada em praticamente todo o ciclo produtivo, exceto no período anterior à irrigação. Mesmo para períodos semanais, de acordo com a disponibilidade dos dados de umidade do solo, o balanço hídrico no solo é mais preciso quando a drenagem profunda e a ascensão capilar são obtidas para períodos iguais ou inferiores a um dia (LIMBARDI, 1995).

O fluxo d'água na zona de raízes da planta e o conteúdo de umidade no solo estão intrinsecamente ligados à demanda energética, a qual é responsável pela alimentação do sistema solo-planta-atmosfera. Em períodos de baixa demanda energética, durante os experimentos de campo o pomar de mangueiras reduziu a taxa evapotranspiratória e a água excedente drenou para o lençol freático, enquanto em períodos de alta demanda a planta extraiu água do solo, quando necessário até mesmo do lençol freático, para atender suas exigências metabólicas.

Durante o ciclo produtivo do pomar de mangueiras, em 1999 (de 10/06 a 09/11/1999) a evapotranspiração totalizou 612,42mm, com uma média de 4,0 mm/dia. A lâmina d'água aplicada ao solo por irrigação foi de 1106,55mm e a pluviometria no período foi de 52,7mm. A drenagem profunda para o lençol freático no período estudado foi de 175,3mm, com valores de mínimos no início e final do ciclo produtivo e de máximo na fase intermediária.

4.3.4 - Análise de erros

Os somatórios das componentes do balanço hídrico no solo em 1999 e o percentual de erros, por período de realização do balanço, são apresentados no Quadro 3.1. Observa-se que o maior nível de erro foi associado ao

balanço hídrico realizado para períodos de um dia. Sendo o balanço hídrico no solo realizado para períodos intermediários de 2, 3 e 5 dias, o percentual de erro atribuído ao método foi de 16,42; 17,43 e 20,50%, o qual não decresceu necessariamente com o aumento do período de elaboração do balanço, porém se manteve em nível elevado. Entretanto, quando o balanço hídrico foi realizado para períodos iguais ou superiores à uma semana (7, 10 e 15 dias) o percentual de erro manteve-se bastante reduzido, variando de 8,02 a 6,99%. MICKSON *et al.* (1997) utilizando a mesma metodologia, encontraram um nível de erro na elaboração do balanço hídrico variando de 0,47 a 45,6%, em condições variadas de tratamento, o qual foi atribuído às incertezas das medições tensiométricas.

Muito embora os balanços hídricos elaborados para períodos superiores a uma semana tenham exibido um percentual de erro inferior, foi utilizado o período de sete dias na estimativa da ET_c , com vistas à estimativa do coeficiente de cultura do pomar de mangueiras. A utilização de períodos maiores pode não contemplar as alterações fenológicas nos subperíodos do ciclo produtivo da planta.

Face ao baixo nível de erro associado ao método, o balanço hídrico no solo, mostrou-se eficiente na determinação da evapotranspiração do pomar de mangueiras quando elaborado para período de sete dias. Resultados similares foram encontrados por TRAMBOUZE *et al.* (1998) os quais observaram que método do balanço hídrico no solo somente oferece estimativas precisas da evapotranspiração quando elaborado para períodos de uma semana.

Quadro 3.1 - Percentual de erros, $\epsilon(\%)$ por período de realização do balanço hídrico no solo, conteúdo de umidade no solo nos instantes inicial (ST_0) e final (ST_f), precipitação pluvial e/ou irrigação (ΣR_i), drenagem/ascensão (ΣQ_i) e evapotranspiração (ΣET_c) acumulada no período de 13/07 a 11/11/1999

| Períodos | ST_0 (mm) | ST_f (mm) | ΣR_i (mm) | ΣQ_i (mm) | ΣET_c (mm) | $\epsilon(\%)$ |
|----------|-------------|-------------|-------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| 1 dia | 252,0 | 258,7 | 1134,9 | 177,70 | 842,60 | 41,70 |
| 2 dias | 252,0 | 258,7 | 1134,9 | 177,70 | 908,00 | 16,42 |
| 3 dias | 252,0 | 258,7 | 1134,9 | 177,70 | 905,40 | 17,43 |
| 5 dias | 252,0 | 258,7 | 1134,9 | 177,70 | 897,45 | 20,50 |
| 7 dias | 252,0 | 258,7 | 1134,9 | 177,70 | 971,27 | 8,02 |
| 10 dias | 252,0 | 258,7 | 1134,9 | 177,70 | 968,73 | 7,05 |
| 15 dias | 252,0 | 258,7 | 1134,9 | 177,70 | 968,60 | 6,99 |

Para períodos inferiores a uma semana, as medições tensiométricas podem não refletir efetivamente o volume d'água armazenado no solo, devido: (i) à resposta lenta dos tensiômetros, face o tempo necessário para a cápsula porosa do instrumento entrar em equilíbrio com o solo, e (ii) os tensiômetros não acusam variações de umidade quando o teor de umidade do solo está acima da capacidade de campo, situação mais frequentes nas primeiras camadas de solo, logo após a irrigação. Por estas razões, o balanço hídrico no solo elaborado para os períodos de 1, 2, 3 e 5 dias, apresentou erros apreciáveis, sugerindo que o método não funciona adequadamente para períodos curtos, nas condições de clima e solo da região do Submédio São Francisco. PAPAKYRIAKOU & McCAUGHEY (1991) observaram que o período máximo para aplicação do balanço hídrico, com confiabilidade de 90%, é de treze dias e que a probabilidade de erros é menor para períodos com pouca precipitação e alta taxa evaporativa.

4. CONCLUSÕES

Os resultados do presente trabalho permitem concluir o seguinte:

1. o balanço hídrico no solo somente é eficiente na estimativa da evapotranspiração do mangueiral, nas condições de clima e solo dos experimentos, quando é considerado o termo referente à drenagem profunda/ascensão capilar;
2. o método do balanço hídrico no solo não deve ser aplicado para períodos inferiores a uma semana, nas condições de solo e clima da região do Submédio São Francisco.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, C.L.T.; SEDIYAMA, G.C.; COUTO, L; *et al.* Balanço hídrico num Latossolo Vermelho-Escuro álico cultivado com milho com irrigação por aspersão. **Agrônômica Ceres**, São Paulo, v. 35, p.89-104, 1988.
- AVILA NETTO, J. **Necessidades hídricas da videira européia**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, 1997. 85p. (Dissertação de mestrado).
- AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B. da; RODRIGUES DA SILVA, V.P.; *et al.* Avaliação do índice de área foliar da mangueira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11, e REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2, 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1999, CD Rom.
- BACCHI, O.O.S.; REICHARDT, K. Estimativa da condutividade hidráulica do solo através do escalonamento do potencial matricial. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 1-6, 1992.
- _____; CORRENTE, J.E.; REICHARDT, K. Análise comparativa de dois métodos simplificados de determinação da condutividade hidráulica de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 249-252, 1991.
- CENTURION, J.F.; MORAES, M.H.; LIBERA, C.L.F.D. Comparação de métodos para determinação da curva de retenção de água em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 173-179, 1997.]
- CUNHA, G.A.; SAMPAIO, J.M.M.; NASCIMENTO, A.S.; *et al.* **Manga para exportação: aspectos técnicos da produção**. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária, Secretaria de Desenvolvimento Rural, Programa de Apoio à Produção e Exportação de Frutas, Hortaliças, Flores e Plantas Ornamentais. - Brasília: EMBRAPA - SPI, 1994, 35p - (Série Publicações Técnicas FRUPEX; 8).
- DOURADO NETO, D; van LIER, Q.J. Estimativa do armazenamento de água no solo para realização do balanço hídrico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.9-15, 1993.
- du PLESSIS, H.M. Evapotranspiration of citrus as affected by soil water deficit and soil salinity. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.6, p. 51-61, 1985.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. Chapman & Hall, New York, 1st ed., 321p, 1990.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Departamento de Física e Meteorologia (ESALQ/USP). 1^o ed. Piracicaba, 497p., 1995.
- LOBATO, E.J.V.; LIBARDI, P.L.; CAMARGO, O.A. Condutividade hidráulica de amostras remoldadas de um Latossolo Roxo Distrófico tratado com água/vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n. 1, p. 181-188, 1998.
- MASTRORILLI, M.; KATERJI, N.; RANA, G.; *et al.* Daily actual evapotranspiration measured with TRD technique in Mediterranean conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 90, n.1, p. 81-89, 1998.
- MICKSON, S.B.; YOMOTA, A; MIURA, T. Water balance of field plots planted with soybean and pumpkin. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 40, n. 4, p. 899-909, 1997.
- MUALEN, Y.A. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resources Research**, Washington, v.12, n.3, p.513-522, 1976.
- PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A.; *et al.* Determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 189-195, 1988.
- PAPAKYRIAKOU, T.N.; MACAUGHEY, J.H. An evaluation of the water balance technique for the estimation of evapotranspiration for a mixed forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v.21, n.11, p. 1622-1631, 1991.
- PLAUBORG, F. Evaporation from bare soil in a temperate humid climate-measurement using micro-lysimeters and time domain reflectometry. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 76, n.1, p. 1-17, 1995.

- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4^a ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1985. 445p.
- PREVEDELLO, C.L.; KOBAYAMA, M.; JACOBS, G.A.; *et al.* Comparação dos métodos do perfil instantâneo e de van Genuchten na obtenção da condutividade hidráulica de uma areia marinha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n.1, p. 1-5, 1995.
- SINHG, R.V.; CHAUHAN, H.S. Irrigation scheduling in wheat under shallow water table conditions. In: In: Evapotranspiration and irrigation scheduling, **Proceedings of the International Conference**, American Society of Agricultural Engineers the Irrigation Association, november, 3-6, San Antonio, Texas, p. 104-109, 1996.
- van GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science American Journal**, Haiston, v. 44, n. 1, p. 898-982, 1980.
- van LIER, Q.J.; DOURADO NETO, D. Valores extremos de umidade do solo referentes ao modelo de van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.1, p.325-329, 1993.
- VILLAGRA, M.M.; BACCHI, O.O.S.; TUON, R.L.; *et al.* Difficulties of estimating evapotranspiration from the water balance equation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 72, n.1, p. 317-325, 1995.
- VIEIRA, S.R.; CASTRO, O.M. Determinação, em laboratório, de curvas de retenção de água com tensiômetros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, p. n. 1, 87-90, 1987.
- WHALLEY, W.R.; LEEDS-HARRISON, P.B.; JOY, P.; HOEFSLOOT, P. Time domain reflectometry and tensiometry combined in an integrated soil water monitoring system. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Londres, v. 59, n. 1, p. 141-144, 1994.