

ESTIMATIVA DA EXIGÊNCIA HÍDRICA DO AMENDOIM USANDO UM MODELO AGROMETEOROLÓGICO

Hildeu Ferreira da Assunção¹; João Francisco Escobedo²

¹Universidade Federal de Goiás, Campus Jataí, Jataí, GO, hildeu@yahoo.com

²Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP

1 RESUMO

Considerando-se os aspectos tecnológicos atuais adotados em manejos da água, do solo e nutrição de plantas, bem como em controles integrados de pragas, doenças e de plantas infestantes, conduziu-se um ensaio com o cultivo do amendoim irrigado por gotejamento, na Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP, em Botucatu-SP, objetivando quantificar o consumo hídrico diário exigido pela cultura. Durante o ensaio, foram monitorados o potencial matricial do solo e os elementos meteorológicos: precipitação pluvial, temperatura do ar, umidade relativa, saldo de irradiância solar e fluxo de calor no solo. Tais medidas foram imprescindíveis para a estimativa diária da evapotranspiração da cultura (*ET_c*), usada no modelo agrometeorológico do balanço de água no solo. O modelo estimou, no período entre a semeadura e a emergência, uma evapotranspiração acumulada de 9 mm; e da emergência até o início do florescimento, um consumo hídrico de 67 mm. Já na fase de florescimento, a evapotranspiração acumulada foi de 166 mm; do florescimento até a maturação, o consumo foi de 124 mm; e no intervalo entre a maturação e a colheita, ainda houve um consumo de 46 mm. Durante o ciclo, a cultura do amendoim consumiu 412 mm, dos quais 246 mm de água foram fornecidos via irrigação. A chuva ocorrida no período foi de 352 mm, com um excedente hídrico de 186 mm. A produtividade foi de 3,15 t ha⁻¹ de grãos, a 15% de umidade, exprimindo uma eficiência de uso da água de 0,764 kg m⁻³.

UNITERMOS: razão de Bowen, balanço hídrico, irrigação, eficiência de uso da água.

ASSUNÇÃO, H. F. da; ESCOBEDO, J. F. USE OF AN AGROMETEOROLOGICAL MODEL TO COMPUTING THE PEANUT WATER REQUIREMENTS

2 ABSTRACT

In the experimental area of the Department of Environmental Sciences (21.85° S; 48.43° W; 786 m), in the School of Agronomical Sciences, UNESP, Botucatu, SP, an experiment was carried out using peanut (*Arachis hypogaea* L), cv. IAC-TATU-ST, to quantify the crop daily water requirements. During the peanut crop cycle, the environmental variables, such as rainfall, air temperature, air relative humidity, soil matric potential, soil heat flux and radiation balance, have been registered continually. These measurements were used to calculate the daily crop evapotranspiration, by the Bowen ratio method. The water replacement required by the peanut crop was done the dripping irrigation system, oriented by a dynamic agrometeorological model that computes the entrance and exit of water in the soil. During the peanut crop cycle, 9.0 mm of water was used from sowing to emergence; 67.0 mm of water, in the growth stage; 166.0 mm, in the flowering stage; 124.0 mm in the final stage

and 46.0 mm from physiological maturity to harvest. Out of 412.0 mm of the total consumption, 246.0 mm of water was supplied by irrigation and 166.0 mm by the rain. The grain yield was 3.15 t ha⁻¹ for 15% of humidity, and the water use efficiency was 0.764 kg m⁻³.

KEYWORDS: water balance, Bowen ratio, irrigation, water use efficiency

3 INTRODUÇÃO

O amendoim (*Arachis hypogaea* L) é cultivado nas regiões de climas tropicais, subtropicais e temperado quente. Cerca de 13,5 milhões de hectares são plantados na Ásia, 5,3 milhões de hectares na África, 1,2 milhões de hectares nas Américas e 0,1 milhões de hectares em outras partes do mundo, sendo responsável por 10% da produção mundial de óleo comestível e o 5º mais consumido, com uma produção de 3,86 x 10⁶ t.

No Estado de São Paulo, o cultivo do amendoim, durante o verão e o outono, concentra-se na parte Oeste, com cerca de 30.000 ha plantadas anualmente, e durante o verão, no Norte, onde a área total anual foi estimada em 50.000 ha. Em ambas as regiões, amendoim também é cultivado como alternativa de rotação da cana-de-açúcar (Godoy & Moraes, 2000).

O ciclo do amendoim varia de 90 a 115 dias para variedades precoces e de 120 a 140 dias para variedades tardias, que dependendo do clima, suas necessidades hídricas variam de 500 a 700 mm. A planta não é sensível ao fotoperíodo e se desenvolve bem em ambientes com temperaturas médias diárias entre 22°C e 28°C, porém, se durante a fase de crescimento, a temperatura média predominante for inferior a 18°C ou superior a 33°C, a produção pode ser significativamente afetada (Doorenbos & Kassam, 1979).

A elevada concentração da população mundial e sua distribuição geográfica não uniforme têm estabelecido, de modo natural, uma demanda pela agricultura tecnificada; esta, para prover aumento na produtividade, requer o uso racional da água. Neste contexto, com a popularização do microcomputador, a partir dos anos setenta, vários modelos foram desenvolvidos visando de forma comercial, o manejo e o dimensionamento de projetos de irrigação (Hiller & Howell, 1983), no sentido de se estabelecer alternativas mais viáveis para o manejo da água e melhoria da eficiência de uso da água pelas plantas.

A eficiência de uso da água (EUA) é um coeficiente que representa o rendimento de uma cultura por unidade de volume de água evapotranspirada, o qual é muito utilizado em modelos de produção (Doorenbos & Kassam, 1979; Driessen & Konijn, 1992).

A razão de Bowen no balanço de energia é um método bastante usado para quantificar o uso de água pelas plantas (Todd et al., 1998), para calcular os coeficientes de cultura (Malek & Bingham, 1993a), para estudar as relações água-planta (Grant & Meinzer, 1991) e para avaliar modelos de uso da água pela cultura (Ortega-Farias et al., 1993). É considerado um método robusto, e tem sido comparado com sucesso com outros métodos como lisímetros de pesagem (Prueger et al., 1997; Todd et al., 1998), correlação de turbilhões (Cellier & Oliosio, 1993) ou balanço de água (Malek & Bingham, 1993b).

O método da razão de Bowen calcula o fluxo de calor latente de uma superfície, usando medidas de temperatura de ar e gradientes de umidade, saldo de radiação, e fluxo de calor do solo (Todd et al., 1998). É um método indireto quando comparado com a correlação de turbilhões que mede diretamente os fluxos turbulentos ou lisímetros de pesagem que medem a variação da massa em um volume de solo isolado e as plantas que crescem neles.

Segundo Todd et al. (1998), as vantagens do método da razão de Bowen incluem medidas reais, simples e diretas; não requer nenhuma informação sobre as características aerodinâmicas da superfície de interesse, nem do coeficiente de cultivo da planta; pode integrar fluxos de calor latentes sobre extensas áreas; e pode calcular fluxos em curtas escalas de tempo. Suas desvantagens incluem as tendências de sensibilidade dos instrumentos que medem os gradientes e as condições do balanço de energia; e ainda as exigências de bordaduras adequadas.

Para tanto, este trabalho tem como objetivos: (1) fazer uso de um modelo agrometeorológico dinâmico que computa diariamente a água exigida pela cultura do amendoim (*Arachis hypogaea*, L), em função dos balanços de energia e de água no solo, das propriedades fisiológicas e fenológicas da cultura, das variáveis meteorológicas e das características físicas do solo; e (2) determinar a eficiência de uso da água pela cultura do amendoim em condições de suprimento hídrico adequado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio com a cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L), cv. IAC-TATU-ST, foi conduzido na área experimental do Setor de Ciências Ambientais (21,85° S; 48,43° W; 786 m), Fazenda Lageado, Campus da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu, SP. O clima local, segundo a classificação de Köppen, é Cwa: temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno (Cunha et al., 1999). A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C. Anualmente, neste local chove cerca de 1500 mm. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (EMBRAPA, 1999).

Para a correção do solo foi aplicado o equivalente a 2,86 t ha⁻¹ de calcário dolomítico em pré-plantio, mediante o resultado da análise química do solo. Na adubação de manutenção foi aplicado o equivalente a 274 kg ha⁻¹ do formulado 0-30-11 no plantio e 60 kg ha⁻¹ do formulado 19-10-19 em cobertura, conforme recomendações técnicas para a cultura (Tasso Júnior et al., 2004; Godoy & Moraes, 2000).

Os controles de plantas infestantes, de pragas e doenças foram efetuados durante todas as etapas da condução experimental.

As plantas foram cultivadas em uma única parcela de 30 x 30 m, conduzidas sob tratamento sem déficit hídrico, no período compreendido entre 11/02 e 31/05/2001. A profundidade média de plantio adotada foi de 0,05 m, a uma densidade de 180.000 plantas/ha.

Durante o ciclo da cultura, foram monitoradas as temperaturas T_1 e T_2 (°C) e as umidades relativas do ar UR_1 e UR_2 (%), tomadas a 0,3 m (1) e a 1,0 m (2) de altura do solo, por sensores higro-térmicos, mod. HMP45-C da *Campbell Scientific*; bem como o saldo da irradiância solar R_n (W m⁻²), medido por um saldo radiômetro, mod. CNR1 da *Kipp & Zonen*; o fluxo de calor no solo G (W m⁻²), medido por um fluxímetro, mod. HFP01SC da *Hukseflux*; a precipitação pluvial P (mm), medida por um sensor pluviométrico, mod. TE525MM da *Texas Electronics*, com precisão de 0,1 mm; e ainda, a tensão de água no solo Ψ (MPa), tomada à profundidade de 0,15 m, por um sensor do potencial matricial, mod. 257-L da *Watermark*, instalado na linha de plantio entre duas plantas, assumindo-se que esta profundidade representa o perfil médio, no qual a curva característica de umidade do solo foi determinada (Figura 2).

Todos os dados foram amostrados à frequência de 1 Hz, por um sistema de aquisição de dados, modelo CR21X da *Campbell Scientific*. O sistema de aquisição de dados foi

programado, em intervalos de 5 minutos, para totalizar a pluviometria, calcular a média das outras variáveis e armazenar as informações em um módulo de memória portátil (SM192).

Todos os dias, às 07h00min, os dados armazenados no módulo de memória eram descarregados no computador e convertidos em valores diários, para serem usados no modelo.

As densidades de fluxo radiantes, R_n e G , foram integradas em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, entre o nascer e o pôr do sol, enquanto que as precipitações pluviométricas, P , foram totalizadas em mm dia^{-1} , considerando-se o período entre 07h00min do dia anterior e 60h55min do dia referente ao “download” dos dados. As medidas de curto prazo, de temperatura (T_1 e T_2), umidade relativa (UR_1 e UR_2) e tensão de água no solo (Ψ) foram transformadas em médias diárias.

Para determinação do fluxo de calor latente λE (MJ dia^{-1}), posteriormente convertido em evapotranspiração de cultura, ET_C (mm dia^{-1}) foi utilizado o balanço de energia, obtido através do método da razão de Bowen:

$$\lambda E = \frac{(R_n - G)}{(1 + \beta)} \quad (1)$$

β é a razão de Bowen, calculada em função de parâmetros térmicos e higrométricos, medidos nos níveis 1 e 2:

$$\beta = \gamma \frac{(T_1 - T_2)}{(e_1 - e_2)} \quad (2)$$

onde γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), e_1 e e_2 são as pressões parciais de vapor (kPa), nos níveis 1 e 2. Estes parâmetros foram calculados de acordo com Allen et al. (1998).

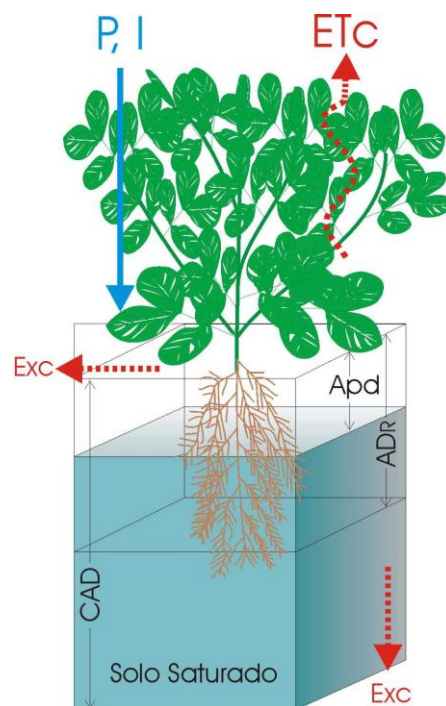


Figura 1. Componentes ilustrativos do balanço de água no solo.

O balanço de água no solo, adotado pelo modelo agrometeorológico, foi efetuado a partir do conhecimento prévio de algumas variáveis do sistema solo-planta-atmosfera, conforme ilustra a Figura 1 (Assunção et al., 2001).

CAD é a capacidade de armazenamento de água no solo, em mm m⁻¹, determinada do seguinte modo:

$$CAD = 1000(\theta_{cc} - \theta_{pmp}) \quad (3)$$

onde $\theta_{cc}=0,205 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $\theta_{pmp}=0,138 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ são, respectivamente, as umidades volumétricas na capacidade de campo (medida à tensão de -0,01 MPa) e no ponto de murcha permanente (medida à tensão de -1,50 MPa). O coeficiente 1000 é utilizado para converter a umidade volumétrica do solo (m³ de água m⁻³ de solo), em lâmina de água (mm) até a profundidade de 1,0 m.

AD_R é a água disponível à profundidade média das raízes, estimada da seguinte forma:

$$AD_R = Z_E CAD \quad (4)$$

onde Z_E é a profundidade efetiva do sistema radicular (m), adaptado do modelo sugerido por Driessen & Conijn (1992), em função de Dias Após Emergência (DAE):

$$Z_E = 0,7Z_{Rmax} - \frac{(0,7Z_{Rmax} - Z_{Rmin})}{1 + \exp[14(DAE - 0,25L)/L]} \quad (5)$$

em que, Z_{Rmin} é a profundidade média de plantio (0,05 m), Z_{Rmax} é a máxima profundidade radicular (0,86 m), L é a duração do ciclo da cultura (105 DAE), os coeficientes: 0,7m é a profundidade relativa onde se encontra, em média, 95% do volume radicular; 14 e 0,25 são parâmetros específicos da cultura em estudo.

Apd - é a Água prontamente disponível (mm), necessária para manter as plantas sem déficit hídrico:

$$Apd = pAD_R \quad (6)$$

p é a fração de esgotamento de água no solo. A equação de estimativa deste parâmetro foi derivada a partir dos valores tabelados por Doorenbos & Kassam (1979) para o amendoim, em função da evapotranspiração:

$$p = -0,3126 \cdot \ln(ETc) + 1,0246 \quad (7)$$

O procedimento do balanço hídrico (Bal) teve início um dia após o plantio (12/02/2001), quando a tensão de água no solo estava próxima à capacidade de campo, ou seja, $\Psi=-0,01$ MPa. Em termos computacionais, o balanço ficou definido da seguinte forma:

$$Bal_i = \begin{cases} P_i + Apd_i - ETc_i; & \text{se } [(Exc_{i-1} > 0) \text{ ou } (Llr_{i-1} > 0)] \\ Bal_{i-1} + P_i + (Apd_i - Apd_{i-1}) - ETc_i & \end{cases} \quad (8)$$

onde, Exc é o excedente de água, calculado como:

$$Exc_i = \max[(Bal_i - Apd_i), 0] \quad (9)$$

A equação (9) assegura que o excedente só ocorre, se o saldo de água no solo (Bal) for maior do que Apd .

Llr é a lâmina líquida requerida, ou irrigação efetiva (mm):

$$Llr_i = Esg_i; \text{ se } Esg_i \geq Apd_i \quad (10)$$

Esg é o esgotamento contínuo da água prontamente disponível, estimado como:

$$Esg_i = \max[(Apd_i - Bal_i), 0] \quad (11)$$

A equação (11) indica que haverá esgotamento total da água prontamente disponível, quando o saldo de água no solo (Bal) for menor do que Apd .

O índice i representa o dia seqüencial, no qual se iniciou a contabilidade de água no solo.

Para manter a umidade do solo à capacidade de campo, na camada correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular, foi adotado o sistema de irrigação por gotejamento, fazendo-se uso de tubogotejadores, com vazão de $4 \text{ L m}^{-1} \text{ h}^{-1}$, a $0,5 \text{ atm}$ de pressão de serviço. Segundo especificações técnicas do fabricante a eficiência deste sistema de irrigação é de $0,95$. A água para irrigação foi suprida por um reservatório de 20 m^3 localizado a 50 m da área experimental com 5 metros de diferença de nível, de maneira que o fornecimento de água à planta se deu por gravidade. A lâmina líquida requerida (Llr), controlada com um hidrômetro, foi aplicada em função do esgotamento (Esg) de água do solo ocorrido entre irrigações ou chuvas consecutivas.

Para fins de validação, o esgotamento de água do solo (Esg), estimado pelo modelo, foi correlacionado com a variação diária da água disponível ($\Delta\theta$) à profundidade de $0,15 \text{ m}$:

$$\Delta\theta_i = \max[150(\theta_{cc} - \theta_i), 0] \quad (12)$$

onde 150 é a profundidade efetiva do sensor do potencial mátrico, dada em mm ; θ_i é a umidade residual do solo no período i , estimada em função da tensão de água no solo (Ψ), usando-se a equação da curva característica de umidade do solo para o local (Klosowski, 2001):

$$\theta = -\frac{0,33}{1 + \exp[(-\ln \Psi - 6,57) / 1,49]} + 0,466 \quad (13)$$

A equação (12) garante que a variação da água disponível, à profundidade de $0,15 \text{ m}$, ocorrerá quando a umidade residual for inferior à umidade na capacidade de campo.

A eficiência de uso da água foi calculada pela razão entre o peso dos grãos a 15% de umidade (kg) e o volume total de água consumida pela cultura (m^3).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra a correlação entre o esgotamento de água no solo determinado pelo método do balanço hídrico e a variação da água disponível, detectada pelo sensor do potencial mátrico. A correlação positiva indica que ambos os métodos são co-lineares, reforçado pelo coeficiente de determinação que explica 93% do ajuste. No entanto, o coeficiente angular indica que o método do balanço de água subestima a medida do sensor, uma vez que foi verificada uma diferença média absoluta de 2,0 mm dia⁻¹ entre ambos os métodos.

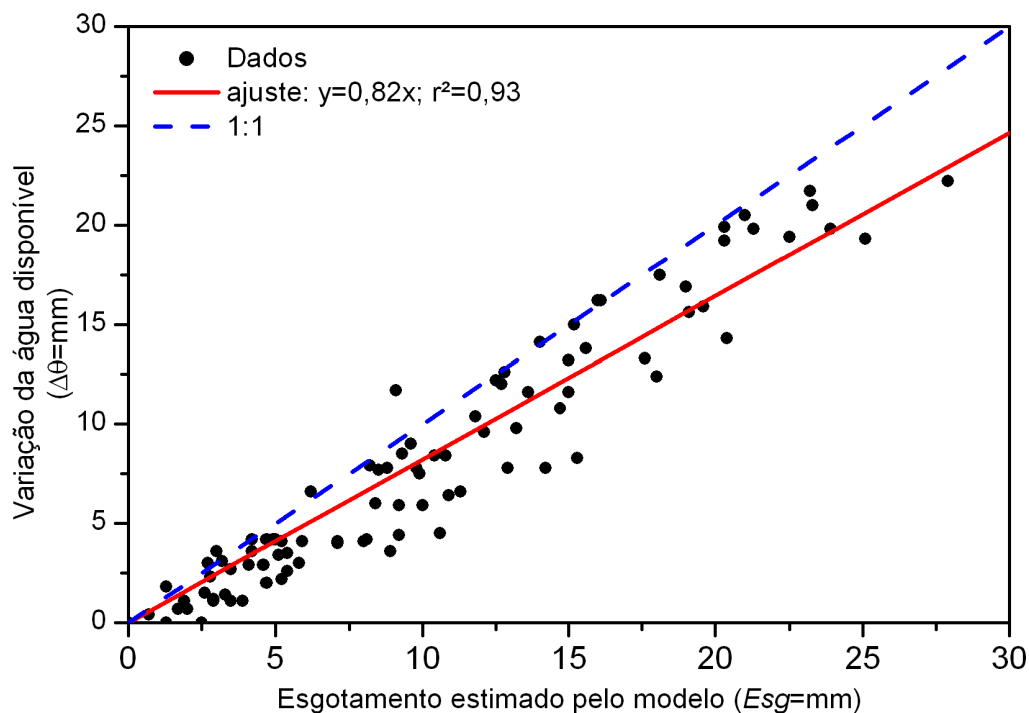


Figura 2. Diagrama de dispersão entre os esgotamentos de água no solo estimado pelo modelo e medido pelo sensor de umidade.

Provavelmente, esta diferença esteja ligada à profundidade onde se encontra o sensor em relação à dinâmica das raízes, bem como à variabilidade do potencial mátrico do solo, uma vez que, foi utilizado somente um sensor para representar a área total do ensaio experimental.

O monitoramento do balanço hídrico, Figura 4A, mostra a variação diária da água no solo entre 0 a 109 dias após a semeadura do amendoim. Observa-se nesta Figura que a água prontamente disponível (*Apd*) varia juntamente com o desenvolvimento da cultura, uma vez que esta depende da fração de esgotamento (*p*) e da profundidade média das raízes (*Z_R*). Este último parâmetro é um indicador referencial da necessidade de reposição de água no solo, uma vez que a cultura tem sistema radicular pivotante bem desenvolvido, com muitas raízes laterais que podem se estender até a profundidade de 1,8 m, porém a maior parte do sistema radicular encontra-se nas primeiras camadas do solo (0,5 a 0,7 m), onde aproximadamente 95% da água são extraídas (Dorenboos & Kassam, 1979; Allen et al., 1998).

A estimativa da lâmina líquida requerida para reposição da água consumida pelas plantas se deu através do balanço hídrico, com base nos valores diários da evapotranspiração. Assim, quando o esgotamento de água (linha vermelha contínua) for superior à água prontamente disponível (linha preta contínua), há necessidade de irrigação, com uma lâmina líquida igual ao esgotamento.

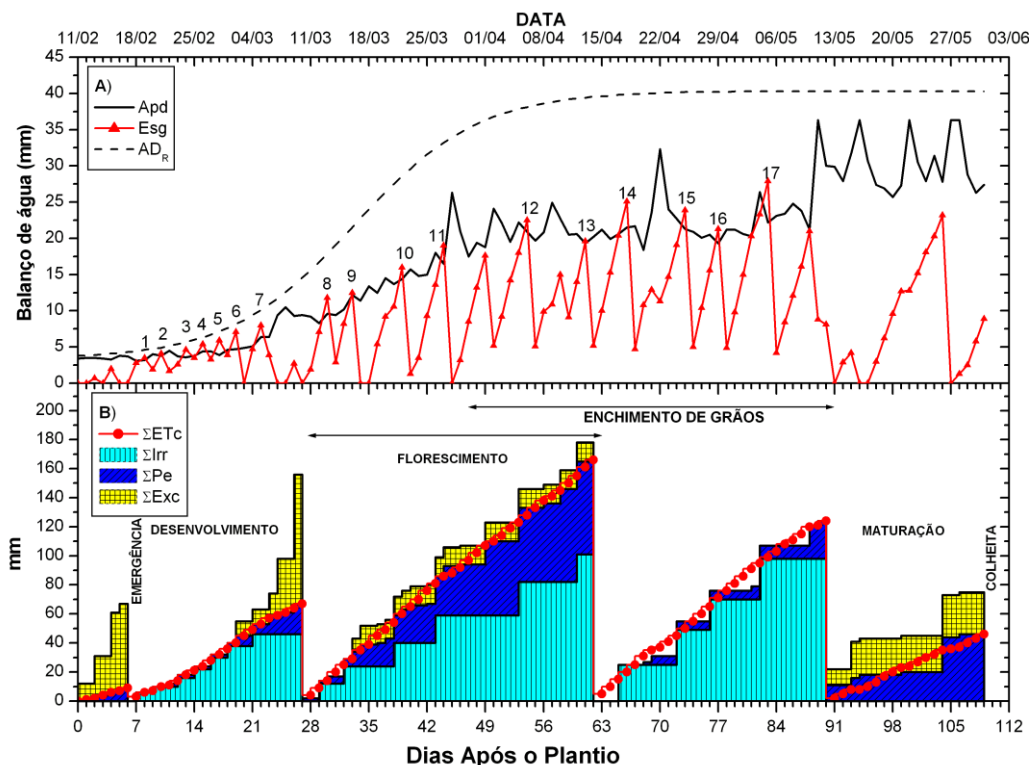


Figura 3. A) Variação diária da água no perfil do solo e número de irrigações; B) Consumo de água (ΣETc), suprimentos hídricos efetivos pela irrigação (ΣIRR) e pelo saldo pluviométrico (ΣPe), acompanhado pelo excedente hídrico (ΣExc) acumulados por período de desenvolvimento da cultura do amendoim em função dos dias após o plantio (DAP).

A Figura 4B apresenta o consumo de água (ΣETc), suprimentos hídricos efetivos, pela irrigação (ΣIRR) e pela chuva efetiva (ΣPe); e ainda o excedente hídrico (ΣExc) acumulados por período de desenvolvimento da cultura do amendoim em função dos dias após o plantio (DAP). Nesta, os excedentes hídricos (Exc) observados são provenientes das chuvas, quando a recarga de água, na zona radicular, ultrapassa o esgotamento.

No intervalo entre a semeadura até o início da emergência (6 DAP), a precipitação pluvial total foi de 67 mm, o suficiente para cobrir uma evapotranspiração acumulada de 9 mm, resultando em um excedente hídrico de 58 mm. Não houve necessidade de irrigação neste período.

Após a emergência (7 DAP) até o início do florescimento (27 DAP), a cultura consumiu 67 mm. Deste total, 46 mm foram fornecidos em sete irrigações, sendo que os 21 mm restantes foram complementados pelas chuvas do período que totalizaram 110 mm. Neste período, houve um excedente acumulado de 89 mm.

Durante o florescimento do amendoim (28 a 62 DAP), particularmente a fase mais exigente em demanda de água, houve um consumo de 166 mm. Neste intervalo, foram

efetuadas 6 irrigações, num total de 101 mm. Também, nesta fase, ocorreram precipitações mais frequentes, porém de baixas intensidades, que totalizaram em 78 mm, as quais contribuíram com 66 mm na reposição de água do solo, causando um excedente hídrico de 13 mm. Observou-se, neste período, que o florescimento persistiu por cinco semanas. Dessa forma, as vagens procedentes das flores tardias tiveram tempo de amadurecer devido ao alongamento do período de enchimento dos grãos (43 dias).

Após o florescimento (63 DAP) até o final da fase de enchimento de grãos (90 DAP), a demanda de água foi de 124 mm. Neste período ocorreram cinco chuvas que totalizaram 26 mm, assim, os 98 mm restantes foram fornecidos em quatro irrigações, até aos 83 DAP. As irrigações foram suspensas, aos 84 DAP, quando mais de 70% das vagens encontravam-se completamente desenvolvidas. Não houve excedente hídrico durante esta fase.

Entre a fase de maturação fisiológica (91 DAP) até a colheita (109 DAP), houve ainda um consumo de 46 mm, suprido por 72 mm de chuvas ocorridas neste período, o que promoveu um excedente hídrico de 26 mm.

Para o ensaio em questão o consumo total de água pela cultura, estimado pelo modelo, entre a semeadura e a colheita, foi de 412 mm, sendo que 246 mm foram supridos em 17 irrigações. As chuvas acumuladas neste intervalo foram de 352 mm, as quais tiveram uma contribuição efetiva de 166 mm na manutenção da demanda hídrica da cultura. Portanto a água disponibilizada para a cultura foi de 598 mm, com um excedente de 186 mm. Embora Sarr et al. (2004) tenham utilizado de 390 a 840 mm de água para suprir as necessidades hídricas de diferentes cultivares de amendoim, Doorenbos & Kassam (1979) asseguram que, para bons rendimentos, um cultivo de sequeiro necessita em torno de 500 a 700 mm de chuva para o período total de crescimento.

A produtividade observada para a cultura do amendoim em casca foi de 4,5 t ha⁻¹, equivalente a 3,15 t ha⁻¹ de grãos, com teor de umidade em torno de 15%. A eficiência de uso da água foi de 0,764 kg m⁻³. Conforme Doorenbos & Kassam (1979), em condição irrigada e com alto nível de manejo, a produtividade pode variar de 2,45 a 3,15 t ha⁻¹ em grãos, enquanto que a eficiência de utilização da água pode variar de 0,6 a 0,8 kg m⁻³.

6 CONCLUSÕES

O modelo agrometeorológico proposto neste trabalho estima, dentro do intervalo de valores referidos na literatura, a demanda de água exigida pela cultura do amendoim permitindo assim estimar com segurança a eficiência de uso da água.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 56).

ASSUNÇÃO H. F. et al. Um modelo agrometeorológico para a estimativa da demanda de água do amendoim. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12, 2001, Fortaleza, CE. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2001, p. 379-380.

CELLIER, P.; OLIOSO, A. A simple system for automated long-term Bowen ratio measurement. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 66, p. 81-92, 1993.

COLLINO, D. J. et al. Physiological responses of argentine peanut varieties to water stress. light interception, radiation use efficiency and partitioning of assimilates. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 70, p. 177-184, 2001.

CUNHA et al. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1, 1999, Botucatu, SP. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1999. p. 487-491.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (FAO: Irrigation and Drainage, Paper 33).

DRIESSEN, P. M.; KONIJN, N. T. (Ed.) **Land-use systems analysis**. Wageningen: Agricultural University. 1992. 230 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ. 1999. 429p.

GODOY, I. J.; MORAES, S. A. **Produção de amendoim em São Paulo**. Campinas: IAC, 2000. 20 p.

GRANT, D. A.; MEINZER, F. C. Regulation of transpiration in field-grown sugarcane: evaluation of the stomatal response to humidity with the Bowen ratio technique. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, n. 53, p. 169-183, 1991.

HILER, E. A.; HOWEL, T. A. Irrigation options to avoid critical stress: an overview. In: TAYLOR, H. M.; JORDAN, W. R.; SINCLAIR, T. R. **Limitation to efficient water use in crop production**, Madison: American Society of Agronomy, 1983. p. 479-497.

KLOSOWSKI, E. S. **Determinação do consumo de água em cultura de pimentão (*Capsicum annum* L.) em ambiente protegido**. 2001. 83 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Energia na Agricultura)–Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

MALEK, E.; BINGHAM, G. E. Growing season evapotranspiration and crop coefficient. In: ALLEN, R. G.; VAN BAVEL, C.M.U. (Eds.) **Management of Irrigation and Drainage Systems: Integrated Perspectives**. New York: American Society Civil Engineering, 1993a. p. 961-968.

MALEK, E.; BINGHAM, G. E. Comparison of the Bowen ratio-energy balance and the water balance methods for the measurement of evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, New York, n. 146, p. 209-220, 1993b.

ORTEGA-FARIAS, S. O.; CUENCA, R. H.; ENGLISH, M. Hourly reference evapotranspiration by Bowen ratio and Penman methods. In: ALLEN, R. G.; VAN BAVEL, C.M.U. (Eds.) **Management of Irrigation and Drainage Systems: Integrated Perspectives**. New York: American Society Civil Engineering, 1993. p. 969-976.

PRUEGER, J. H. et al. Bowen-ratio comparisons with lysimetric evapotranspiration. **Agronomy Journal**, Madison, n. 89, p. 730-736, 1997.

SARR, B.; LECOEUR, J.; CLOUVEL, P. Irrigation scheduling of confectionery groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Senegal using a simple water balance model. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, n. 67, p. 201-220, 2004

TASSO JÚNIOR, L. C., MARQUES, M. O, NOGUEIRA, G. A. **A cultura do amendoim**. Jaboticabal: UNESP, 2004. 218 p.

TODD, R. W.; EVETT, S. R.; HOWELL, T. A. **Latent heat flux of irrigated alfalfa measured by weighing lysimeter and Bowen ratio-energy balance**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1998. 19 p. (ASAE, Paper 982119).