

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias
v.1, n. único, p.89-95, out.-dez., 2006
Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br
Protocolo 59 - 15/12/2006

José R. de S. Lima²

Antonio C. D. Antonino³

Willames de A. Soares⁴

Eduardo S. de Souza²

Carlos A. B. de O. Lira³

Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi¹

RESUMO

Determinaram-se os componentes do balanço hídrico (evapotranspiração, variação do armazenamento de água no solo, drenagem profunda, ascensão capilar e precipitação pluvial), em um Latossolo Amarelo cultivado com feijão caupi. Em uma área de 4 ha do Centro de Ciências Agrárias da UFPB, Areia, PB (latitude 6°58'12" S, longitude 35°42'15" W, altitude de 620 m), foram instalados três sítios tensio-neutrônicos, contendo, cada um, um tubo de acesso para a sonda de nêutrons e oito tensiômetros, além de um pluviógrafo automatizado. Ensaios de infiltração foram realizados para determinação da condutividade hidráulica saturada do solo. Verificou-se que a drenagem profunda foi subestimada, tendo em vista os pequenos valores (-17,23 mm) encontrados para esse tipo de solo. A variação do armazenamento de água no solo seguiu as variações da precipitação pluvial. A evapotranspiração do feijão caupi foi mais elevada nos períodos de maior disponibilidade hídrica, com valor médio de 4,12 mm d⁻¹, sendo que o maior consumo de água ocorreu na fase reprodutiva.

Palavras-chave: evapotranspiração, conteúdo de água do solo, drenagem profunda

Water balance in soil cultivated with cowpea

ABSTRACT

The water balance components (evapotranspiration, variation of the water storage in the soil, deep drainage, capillary rise, rainfall), were determined for an Oxisoil cultivated with cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). An automated rainfall gauge and three plots were installed in an area of 4 ha in the CCA/UFPB, Areia-PB (latitude 6°58'12" S, longitude 35°42'15" W, altitude: 620 m). Each plot consisted of an access tube for neutron probe measurements and a set of eight tensiometers. Infiltration tests were performed for the determination of the saturated soil hydraulic conductivity. It was verified that the deep drainage was underestimated, due to the small value (-17.23 mm) found for that soil type. The variation of water storage in the soil followed the variations in rainfall. The evapotranspiration was higher in the periods of increased water availability, with the average value of 4.12 mm d⁻¹, and the greater water consumption occurred in the reproductive phase.

Key words: evapotranspiration, soil water content, deep drainage

² Pesquisador DCR/Fapesq/CNPq junto ao DSER/CCA, UFPB. romualdo_solo@yahoo.com.br

³ Professor Adjunto, UFPE. acda@ufpe.br; cabral@ufpe.br

⁴ Doutorando em Tecnologias Energéticas e Nucleares, PROTEN/DEN/UFPE. williamess@yahoo.com.br

¹ Trabalho extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor defendida na UFPE

INTRODUÇÃO

A produção e o consumo do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp), estão espalhados por vastas áreas das Américas Central e do Sul, pelas áreas do sudeste e sudoeste da América do Norte, e em áreas do oeste da África, Índia, sul e sudeste da Ásia, Austrália e sul da Europa. Na América do Sul a região mais produtora é o nordeste do Brasil (Ehlers & Hall, 1997).

O feijão caupi ou feijão macassar, é o alimento básico das populações mais pobres, exercendo importante função social no suprimento das necessidades nutricionais, além de desempenhar papel fundamental na composição da produção agrícola brasileira, particularmente do Nordeste (Cordeiro et al., 1998).

O feijoeiro é classificado como planta sensível, tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo. O requerimento de água pela cultura é variável com o seu estágio de desenvolvimento. O consumo de água aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e na formação de vagens, decrescendo a partir do início da maturação (Nóbrega et al., 2001).

Apesar da grande importância do feijão caupi, poucos estudos foram realizados até o momento, como o de Antonino et al. (2000), que relaciona a quantidade de precipitação pluvial com o armazenamento de água no solo. A partição da precipitação que atinge o solo em evaporação, transpiração, infiltração e/ou escoamento superficial, é controlada principalmente pela interface solo-biosfera-atmosfera.

A dinâmica da água no solo está diretamente relacionada à produção vegetal; seu conhecimento é, portanto, de interesse fundamental para qualquer tomada de decisão sobre a exploração agrícola dos solos. Portanto, a melhor caracterização dos fatores que interferem neste movimento se torna imprescindível, uma vez que o movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera envolve processos como infiltração, redistribuição, drenagem e absorção pelas plantas, os quais podem ser medidos ou estimados pelo método do balanço hídrico.

Para se efetuar o balanço hídrico de uma cultura é necessário computar as entradas de água no solo via precipitação pluvial ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície, e as saídas, representadas pela drenagem profunda, evapotranspiração e escoamento superficial, em um volume de solo, em determinado período de tempo (Libardi, 2000).

A importância do balanço hídrico como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo e, por conseguinte, na definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para a cultura, está relacionada não só ao conhecimento dos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar, escoamento superficial) como, também, ao conhecimento das características da planta, principalmente da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço (Cintra et al., 2000).

Assim sendo, o presente trabalho teve como objetivo estimar a evapotranspiração e os demais componentes (drenagem profunda, ascensão capilar, variação do armazenamento

de água, precipitação pluvial) do balanço hídrico, em solo cultivado com feijão caupi na microrregião do Brejo Paraibano.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização, clima e solo da área experimental

As medidas para a realização do balanço hídrico foram efetuadas em uma área de 4,0 ha localizada na fazenda Chã de Jardim, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, situado na microrregião do Brejo Paraibano, no município de Areia, Estado da Paraíba (6°58'12" S e 35°42'15" W). A altitude é de aproximadamente 620 m acima do nível do mar. O clima na região, pela classificação de Köppen, é do tipo As' (quente e úmido), com estação chuvosa no período outono-inverno, sendo as maiores precipitações nos meses de junho e julho (BRASIL, 1972). O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 1999) e apresentou as seguintes características químicas, determinadas utilizando-se as metodologias recomendadas pela EMBRAPA (1997): pH em água 5,2, P e K extraídos pelo método de Mehlich, 0,75 e 30 mg dm⁻³, respectivamente, matéria orgânica, 48 g dm⁻³ e CTC, 10,90 cmol_c dm⁻³.

Também foram realizadas análises físicas do solo, sendo que a análise granulométrica foi realizada em amostras coletadas a cada 10 cm, até a profundidade de 80 cm (Tabela. 1). As frações de argila e de silte foram determinadas por sedimentação, após dispersão com hexametáfosfato de sódio, utilizando-se o método do densímetro (Loveland & Whalley, 1991). A densidade do solo foi determinada utilizando-se o método do anel volumétrico. Evidencia-se, na Tabela 1, que com o aumento da profundidade há aumento também do teor de argila, com conseqüente diminuição do teor de areia, sendo que a classificação textural, conforme a Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, até a profundidade de 40 cm é franco-argilo-arenosa, enquanto de 40 até 80 cm a classificação textural, é argilo-arenosa.

Tabela 1. Análise granulométrica, classificação textural e densidade do solo (ρ) da área experimental

Table 1. Granulometric analysis, texture classification and bulk density (ρ) of the soil of the experimental area

Profundidade (cm)	Granulometria (g kg ⁻¹)			Classificação Textural	ρ (g cm ⁻³)
	Areia	Silte	Argila		
0-10	640,6	129,0	230,4	Franco Argilo Arenosa	1,21
10-20	617,1	152,5	230,4	Franco Argilo Arenosa	1,35
20-30	558,2	140,8	301,0	Franco Argilo Arenosa	1,35
30-40	558,2	140,8	301,0	Franco Argilo Arenosa	1,32
40-50	499,4	117,4	383,2	Argilo Arenosa	1,32
50-60	441,0	117,1	441,9	Argilo Arenosa	1,43
60-70	488,7	70,3	417,5	Argilo Arenosa	1,43
70-80	488,7	93,8	441,0	Argilo Arenosa	1,20

Período de medição e instrumentação

O estudo dos componentes do balanço hídrico foi realizado em solo cultivado com o feijão caupi, no período de 14 de

março a 14 de junho de 2002. O plantio da cultura foi realizado manualmente e se estendeu de 14 a 16/3/2002, e a colheita dos dias 10 a 14/6/2002. O período de estudo, que totalizou 92 dias, foi dividido em 13 subperíodos, das quais 4 subperíodos com 7 dias, 4 com 6 dias, 3 com 8 dias, 1 com 5 dias e 1 com 11 dias. A não uniformidade dos subperíodos, ou seja, número de dias desiguais entre eles, foi devido ao fato de que as leituras de conteúdo de água e de potencial total do solo apresentaram algumas lacunas.

A descrição das fases fenológicas da cultura do feijão caupi foi realizada de acordo com Bastos et al. (2001). Para o cálculo da evapotranspiração média diária nas diferentes fases fenológicas, considerou-se que a fase de emergência consistiu dos primeiros 13 dias, a fase vegetativa se estendeu dos 14 aos 47 dias após o plantio, a fase reprodutiva dos 48 aos 76 dias, a fase de maturidade fisiológica se estendeu dos 77 aos 81 dias e a fase de senescência englobou 82 aos 92 dias.

Para determinação do balanço hídrico foram instalados três sítios tensão-neutrônicos na área experimental. Em cada sítio se instalaram um tubo de acesso, em alumínio, para a sonda de nêutrons, e oito tensiômetros nas profundidades de 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 e 120 cm. As medidas neutrônicas foram realizadas diariamente a cada 10 cm, até a profundidade de 120 cm, com uma sonda TROXLER série 4300, tendo a mesma uma fonte radioativa de Am-Be de atividade de 10 mCi (0,37 GBq). As leituras nos tensiômetros também foram realizadas diariamente.

A curva de calibração da sonda de nêutrons foi obtida do estudo de Lima et al. (2002), que trabalharam na mesma área experimental.

O balanço hídrico foi efetuado considerando-se o perfil de solo de 0-60 cm, tendo em vista essa profundidade englobar todo o sistema radicular da cultura.

Componentes do balanço hídrico

O balanço hídrico em determinado volume de solo e em um período de tempo (Libardi, 2000), é descrito pela equação:

$$\Delta A = P + I \pm D \pm R - ET \quad (1)$$

A partir da equação do balanço hídrico (Eq. 1), a evapotranspiração da cultura (ET) pode ser obtida por:

$$ET = P + I \pm D \pm R - \Delta A \quad (2)$$

sendo:

- ΔA - variação de armazenamento de água no perfil de solo (mm)
- P - precipitação pluvial (mm)
- I - irrigação (mm)
- D - drenagem profunda ou a ascensão capilar (mm)
- R - escoamento superficial (mm)

O termo irrigação foi nulo, haja vista que o trabalho foi realizado em condições de sequeiro. Considerou-se que não houve escoamento superficial de água, em virtude do solo apresentar declive suave e ser naturalmente bem drenado. A precipitação pluvial foi monitorada por meio de um pluviógrafo automatizado instalado em uma torre, no centro da área.

Calculou-se o armazenamento acumulado de água no solo 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 ($z = L$) (Libardi, 2000), por meio da equação:

$$A_L = \int_0^L \theta(z) dz = \left[0,500\theta(z_0) + \sum_{i=1}^{n-1} \theta(z_i) + 0,500\theta(z_n) \right] \Delta z \quad (3)$$

sendo:

- θ - conteúdo de água do solo e i - número de profundidades de leitura

A variação no armazenamento de água no perfil de solo (ΔA) foi determinada pela diferença dos valores do conteúdo de água do solo obtidos do perfil, nos tempos inicial e final de cada período considerado, expressa pela seguinte equação:

$$\Delta A = [\theta_{(f)} - \theta_{(i)}] L = A_f - A_i \quad (4)$$

sendo:

- A_f e A_i - armazenamentos acumulados de água final e inicial, respectivamente

O fluxo de água através da base do perfil de solo estudado (drenagem profunda) foi estimado com a equação de Darcy - Buckingham:

$$D = -K(\theta) \nabla \phi_t \quad (5)$$

sendo:

- $K(\theta)$ - condutividade hidráulica não saturada;
- $\nabla \phi_t$ - gradiente de potencial total na direção vertical. O gradiente de potencial total foi calculado a partir dos potenciais obtidos nas profundidades de 40, 60 e 80 cm

Os dados experimentais das curvas de retenção da água no solo, obtidos por meio dos pares dos valores do conteúdo de água do solo e de potencial matricial do solo medidos, respectivamente, pela sonda de nêutrons e pelos tensiômetros, foram ajustados por intermédio da equação proposta por van Genuchten (1980):

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \cdot \left[1 + (\alpha \cdot h)^n \right]^{-m} \quad (6)$$

$$\text{com: } m = 1 - \frac{2}{n} \quad (\text{Burdine, 1953})$$

sendo:

- θ_s - conteúdo de água no solo na saturação ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
- θ_r - conteúdo residual de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)
- h - potencial matricial (cm)
- α - inverso da pressão de borbulhamento (cm^{-1}) a partir da qual a água começa a ser drenada do solo previamente saturado
- n e m - parâmetros de ajuste da equação

A condutividade hidráulica não saturada, $K(q)$, foi obtida por intermédio da equação de van Genuchten (1980), utilizando-se a hipótese de Burdine (1953).

$$K(\theta) = K_s S_e^2 \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right] \quad (7)$$

com: $S_e = (\theta - \theta_r) / (\theta_s - \theta_r)$

sendo:

K_s - condutividade hidráulica à saturação do solo;
 S_e - umidade efetiva

Para estimar a condutividade hidráulica saturada do solo (K_s) realizaram-se ensaios de infiltração com infiltrômetro de anel simples com 15 cm de diâmetro na superfície e nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm, com o método proposto por Haverkamp et al. (1994). O ensaio de infiltração consiste em anotar o tempo que volumes constantes de água levam para infiltrar no solo, sendo que esses volumes de água podem variar de 70 a 250 mL, dependendo da taxa de infiltração, a fim de evitar uma carga hidráulica e conseqüente fluxo forçado no solo. A infiltração acumulada é obtida calculando-se a razão entre o volume acumulado e a área do infiltrômetro de anel ($A = 176,71 \text{ cm}^2$).

Haverkamp et al. (1994) propuseram a seguinte equação para a infiltração acumulada para tempos longos:

$$I_{3D} = \left(K_s + \frac{\gamma \cdot S_o^2}{r \cdot \Delta\theta} \right) \cdot t + \frac{S_o^2}{2 \cdot (K_s) \cdot (1 - \beta c)} \cdot \ln \left(\frac{1}{\beta c} \right) \quad (8)$$

sendo:

r - raio do disco
 S_o - sorvidade
 $\Delta\theta$ - variação de umidade
 βc - constante no intervalo ($0 < \beta c < 1$), cujo valor é igual a 0,6 (Haverkamp et al., 1994)
 γ - constante teórica, cujo valor é igual a 0,75

A condutividade hidráulica saturada (K_s) do solo foi obtida por intermédio do ajuste, da Eq. (8) aos dados da infiltração acumulada em função do tempo por meio da subrotina DBCONF da IMSL (IMSL, 1989).

Os valores dos parâmetros da curva de retenção obtidos por meio do ajuste da Eq. (6), e os valores da condutividade hidráulica saturada (K_s) estão apresentados na Tabela 2. Os valores de θ_r foram considerados iguais a 0,0 (zero).

Tabela 2. Valores dos parâmetros da curva de retenção da água no solo $\theta(h)$, equação de van Genuchten (1980), para as profundidades de 40, 60 e 80 cm

Table 2. Parameter values of the soil water retention curve $\theta(h)$, equation of van Genuchten (1980) for depths of 40, 60 and 80 cm

Profundidade (cm)	θ_s ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$)	α (cm^{-1})	n	m	K_s (mm d^{-1})
40	0,4653	0,8238	2,0932	0,0445	468,10
60	0,4588	0,2282	2,1150	0,0544	527,89
80	0,4574	1,0914	2,0778	0,0374	481,24

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Precipitação pluvial e evolução do conteúdo de água do solo

A precipitação pluvial e a evolução do conteúdo de água durante o período de 14/03/2002 a 14/06/2002, são apresentadas na Figura 1.

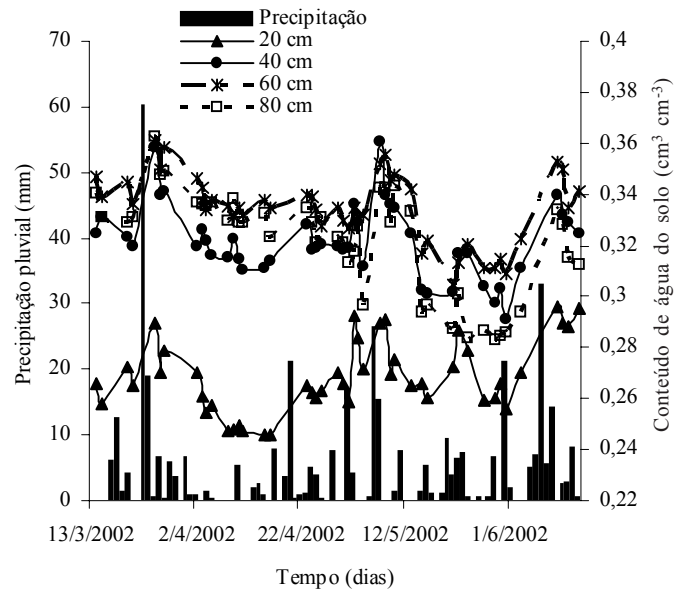


Figura 1. Precipitação pluvial e evolução do conteúdo de água do solo nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm, durante o período de 14/03/2002 a 14/06/2002, em Areia, PB

Figure 1. Rainfall and soil water content evolution for depths of 20, 40, 60 and 80 cm, during the period of 14/03/2002 to 14/06/2002 at Areia, PB

Ocorreu chuvas no total de 410,3 mm, com distribuição regular durante todo o período, a não ser do dia 01/04/2002 ao dia 16/04/2002, com apenas 14 mm de chuva. Verifica-se, que dos 94 dias de estudo, 34 foram sem precipitação pluviométrica, sendo que em 50 dias ocorreram precipitações de até 10 mm e somente 10 dias tiveram precipitações maiores do que 10 mm, em que o maior evento de chuva (60 mm) se deu no dia 23/03/2002. As precipitações apresentaram frequência elevada e baixa intensidade, características essas normalmente encontradas nas precipitações verificadas na região do Brejo Paraibano.

Observa-se, ainda, na Figura 1, que a profundidade de 20 cm apresentou os menores valores de conteúdo volumétrico de água, sendo que as profundidades de 60 e 80 cm apresentaram os valores mais elevados e a profundidade de 40 cm mostrou comportamento intermediário. O comportamento do conteúdo de água do solo na profundidade de 20 cm pode ser explicado pelo fato dessa profundidade estar sujeita a uma perda maior de água, por meio da evaporação do solo e se encontrar, normalmente, a nesta profundidade, a maior parte do sistema radicular da cultura; já o comportamento da umidade nas profundidades de 60 e 80 cm, ou seja, maiores valores de conteúdo de água se deve, provavelmente, a um conteúdo maior de argila (Tabela 1), o que condiciona uma

retenção maior de água pelo solo, independentemente da profundidade, a variação do conteúdo de água do solo seguiu as variações da precipitação pluvial.

Componentes do balanço hídrico durante o período de 13 de março a 14 de junho de 2002

Os componentes do balanço hídrico durante o período de 14/03/2002 a 14/06/2002 são apresentados na Figura 2. Observa-se que a precipitação pluvial (PRE) teve uma distribuição bastante regular e que os maiores eventos ocorreram nos subperíodos 2, 8 e 13 com 90,5, 63,4 e 78,0 mm, respectivamente, com o valor total de 410,3 mm.

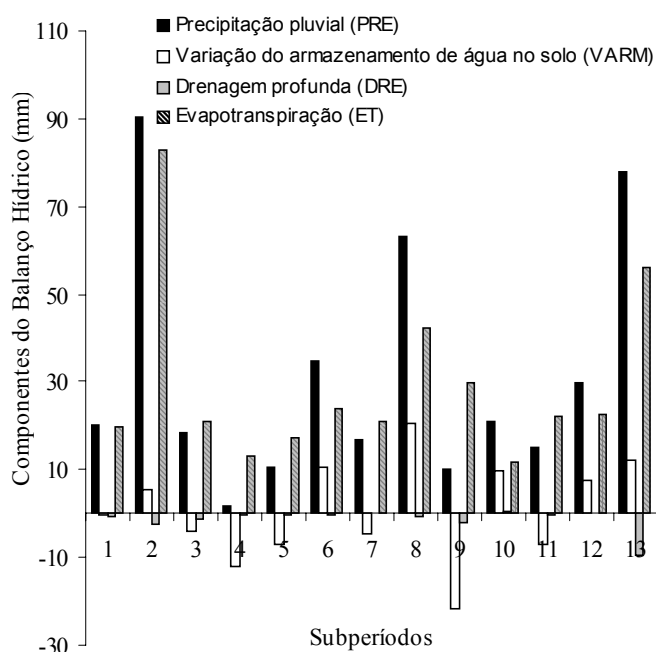


Figura 2. Componentes do balanço hídrico durante o período de 14/03/2002 a 14/06/2002 em solo cultivado com feijão caupi

Figure 2. Water balance components during the period of 14/03/2002 to 14/06/2002 in a soil cultivated with cowpea

A variação do armazenamento de água no perfil de solo (VARM) mostrou valores positivos nos subperíodos 2, 6, 8, 10, 12 e 13, com 5,55, 10,6, 20,4, 9,5, 7,5 e 12,4 mm, respectivamente; enquanto nos subperíodos 4, 5, 8 e 11 ocorreram os maiores valores negativos de VARM, com -11,95, -6,95, -21,7 e -7,15 mm, respectivamente. As variações do armazenamento de água no perfil de solo seguiram as variações da precipitação pluviométrica.

Com relação à drenagem profunda (DRE), tem-se que os seus valores mais elevados ocorreram nos subperíodos 2 e 13, com -2,30 e -9,40 mm, respectivamente, e o valor total foi de -17,23 mm. Reichardt et al. (1979), estudando a dinâmica da água em um Latossolo, encontraram valores de drenagem de -307,0 mm. Estudando o balanço hídrico na cultura da manga em um Latossolo Vermelho-Amarelo, Azevedo et al. (2003) encontraram valores de drenagem de -99,5 mm. Cruz et al. (2005) também encontraram valores de drenagem de -72,4 mm em um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com citros.

Esperavam-se maiores valores de drenagem profunda para este tipo de solo (Latosolo Amarelo), principalmente para o subperíodo 2, uma vez que nesse subperíodo ocorreram os valores mais elevados de precipitação pluvial (90,5 mm), mas o valor de drenagem, nesse mesmo período, foi de apenas 2,99 mm (Figura 2). Os Latossolos são caracterizados por apresentarem alta capacidade de infiltração e serem bem drenados naturalmente.

A subestimativa dos valores da drenagem com consequente superestimativa da evapotranspiração da cultura, pode ser explicada, uma vez que nesses subperíodos ocorreram muitas lacunas nas medições do conteúdo de água e do potencial total de água do solo, não sendo possível se fazer uma estimativa muito precisa da drenagem; como, por exemplo, no subperíodo 2, que apresentou a maior precipitação e a drenagem três vezes menor que a do décimo terceiro subperíodo. De acordo com Reichardt et al. (1979) a maior dificuldade na elaboração de estimativas de termos de balanço hídrico se encontra na estimativa do termo de drenagem, obtido a partir da equação de Darcy. Existem sérias dificuldades na aplicação da equação de Darcy, em razão de erros cometidos na estimativa do gradiente de potencial e, sobretudo, na escolha do valor da condutividade hidráulica; além disso, a determinação dos fluxos de drenagem profunda, utilizando-se perfis de umidade e de potencial total de água do solo, mostra-se confiável em períodos de déficit hídrico porém é menos confiável nos períodos chuvosos, quando ocorrem aumentos no armazenamento de água no solo (Andrade et al., 1988), o que deve ter ocorrido nesta pesquisa.

A evapotranspiração da cultura (ET) também teve seus maiores valores nos mesmos subperíodos em que aconteceram os maiores eventos de precipitação. Esses maiores valores de ET em virtude das maiores precipitações pluviométricas ocorrem, de acordo com Calvache et al. (1998), devido à maior evaporação das camadas superficiais do solo.

O valor total de ET no período de 14/03/2002 a 14/06/2002 foi de 398,3 mm e o valor médio, de 4,33 mm d⁻¹. Bernardo et al. (1996) trabalhando nas condições da zona da mata, norte de Pernambuco, em um solo classificado como Argissolo, utilizando a mesma metodologia desse trabalho, encontraram valores médios de ET para a cultura do feijão caupi de 4,07 mm d⁻¹, ou seja, valores muito próximos dos encontrados nessa pesquisa.

Evapotranspiração do feijão caupi nas diferentes fases fenológicas

A evapotranspiração total e a precipitação pluvial acumulada, em cada uma das fases fenológicas do feijão caupi, são apresentadas na Figura 3, em que se nota que os valores de evapotranspiração seguiram as variações da precipitação pluvial e, como já explicado, esses maiores valores de ET nos períodos de maior disponibilidade hídrica devem ter sido superestimados em virtude da subestimativa do termo drenagem profunda.

Dividindo-se o número de dias de cada fase fenológica pela evapotranspiração total, obtêm-se os valores médios diários de evapotranspiração em cada fase fenológica (Tabela 3).

Observa-se que os maiores valores de ET ocorrem na fase de emergência, de senescência e de maturação, com 7,31, 5,10

Tabela 3. Evapotranspiração média diária nas diferentes fases fenológicas do feijão caupi

Table 3. Average daily evapotranspiration during phenological phases of the cowpea

Fase fenológica	Intervalo	ND	ET (mm d ⁻¹)
Emergência	14/03 a 27/03/2002	14	7,31
Vegetativa	27/03 a 30/04/2002	34	2,84
Reprodutiva	30/04 a 29/05/2002	29	3,65
Maturação	29/05 a 03/06/2002	5	4,49
Senescência	03/06 a 14/06/2002	11	5,10

ND - número de dias.

e 4,49 mm d⁻¹, respectivamente. Esses maiores valores nessas fases podem ser explicados com base nos elevados valores de precipitação pluvial (Figura 3) e, além disso, a maior parte desses valores deve ser oriunda da evaporação direta da água do solo, uma vez que na fase de emergência o solo se encontra praticamente desnudo e, nas fases de maturação e de senescência, o feijão caupi não utiliza muita água nos seus processos fisiológicos; deste modo, o maior consumo de água pelo feijão caupi ocorre na fase reprodutiva com valor médio de 3,65 mm d⁻¹, concordando com os valores encontrados na literatura. Calvache et al. (1998) observaram valores médios nessa fase, de 4,6 mm d⁻¹, obtidos pelo método do balanço hídrico, segundo os dias o evento ocorre devido ao fato de que a água é o meio de transporte dos fotossintatos da fonte (folhas e raízes) ao sumidouro (grãos) e, na época reprodutiva, essa atividade é máxima.

Outro fato que pode explicar o aumento do consumo de água na fase reprodutiva se liga ao desenvolvimento da cultura, com um aumento rápido da área foliar, ocasionando, portanto, aumento evapotranspiratório (Ávila Netto et al., 2000). No final do ciclo, ocorre um decréscimo da redução da transpiração da cultura, causada pela senescência das folhas e pelo início da maturação.

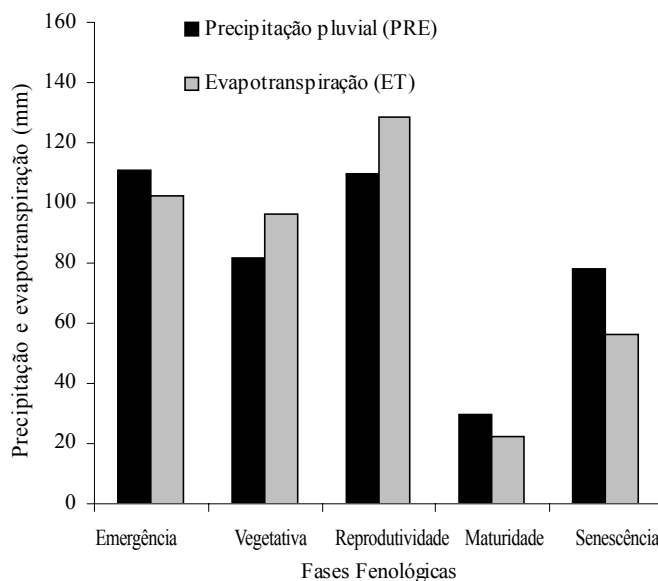


Figura 3. Evapotranspiração (ET) e precipitação pluvial (PRE) durante as diferentes fases fenológicas do feijão caupi

Figure 3. Evapotranspiration (ET) and rainfall (PRE) during the phenological phases of the cowpea

Pelos resultados obtidos, inferir-se que o método do balanço hídrico do solo pode ser usado para determinar a evapotranspiração do feijão caupi nas condições do Brejo Paraibano, sendo que poderá haver grandes melhorias nessas determinações se houver estimativas mais precisas dos componentes do termo drenagem profunda, ou seja, dos gradientes de potencial total e da condutividade hidráulica do solo, principalmente para os períodos mais chuvosos.

CONCLUSÕES

A evapotranspiração total e média do feijão caupi foi de 383,02 mm e 4,12 mm d⁻¹, respectivamente.

O maior consumo de água pelo feijão caupi ocorreu na fase reprodutiva, com valor médio de 3,65 mm d⁻¹.

Quanto aos outros componentes do balanço hídrico, verificou-se ocorrência de uma subestimativa da drenagem profunda e que as variações do armazenamento de água no perfil de solo seguiram as variações da precipitação pluvial.

LITERATURA CITADA

- Andrade, C.L.T.; Sedyama, G.C.; Couto, L.; Sans, L.M.A.; Ferreira, P.A. Balanço hídrico num Latossolo Vermelho-Escuro álico cultivado com milho com irrigação por aspersão. *Agrônômica Ceres*, São Paulo, v.35, p.89-104, 1988.
- Antonino, A.C.D.; Sampaio, E.V.S.B.; Dall'Olio, A.; Salcedo, I.H. Balanço hídrico em solo com cultivos de subsistência no semi-árido do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, n.1, p.29-34, 2000.
- Ávila Netto, J.; Azevedo P.V. de; Silva, B.B. da; Soares, J.M.; Teixeira, A.H. de C. Exigências hídricas da videira na região do submédio São Francisco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 35, n.8, p 1559-1566, 2000
- Azevedo, P.V. de; Silva, B.B. da; Silva, V. de P.R. Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.58, n.3, p.241-254, 2003.
- Bastos, E.A.; Folegatti, M.V.; Faria, R.T.; Andrade Júnior, A.S.; Cardoso, M.J. Simulation of growth and development of irrigated cowpea in Piauí State by CROPGRO model. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.10, p.1381-1387, 2001.
- Bernardo, A.L.; Antonino, A.C.D.; Carneiro, C.J.G.; Dall'Olio, A. Evapotranspiração da cultura do feijão caupi na Zona da Mata de Pernambuco. In: *Congresso Geral de Energia Nuclear*, 4, 1996, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: CNEN, 1996. CD Rom.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Divisão de Agrologia. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. SUDENE Rio de Janeiro, 1972. 670p.
- Burdine, N.T. Relative permeability calculation from size distribution data. *América Institute Mining and Metallurgy Engineering*, v.198, p.71-78. 1953.

- Calvache, A.M.; Reichardt, K.; Bacchi, O.O.S. Efeito de épocas de deficiência hídrica na evapotranspiração atual da cultura do feijão cv. Imbabello. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.55, n.3, p.485-497, 1998.
- Cintra, F.L.D.; Libardi, P.L.; Saad, A.M. Balanço hídrico no solo para porta-enxerto de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.4, n.1, p.23-28, 2000.
- Cordeiro, L.G.; Bezerra, F.M.L.; Santos, J.J.A.; Miranda, E.P. Fator de sensibilidade ao déficit hídrico da cultura do feijão Caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.2, n.2, p.153-157, 1998.
- Cruz, A.C.R.; Libardi, P.L.; Carvalho, L.A. de; Rocha, G.C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n.1, p. 1-10.
- Ehlers, J.D., Hall, A.E. Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Field Crops Research*, Amsterdam, v.53, n.1-3, p.187-204, 1997.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise do solo. EMBRAPA Solos Rio de Janeiro - RJ, 1997. 212p.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. EMBRAPA Solos Rio de Janeiro - RJ, 1999. 412p.
- Haverkamp, R.; Ross, P.J.; Smettem, K.R.J.; Parlange, J.Y. Three dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer. 2. Physically based infiltration equation. *Water Resource Research*, Washington, v.30, n.11, p.2931-2935, 1994.
- IMSL. IMSL math/library; User manual. IMSL, Houston. 1989.
- Libardi, P.L. Dinâmica da água no solo. 2.ed. Piracicaba: O Autor, 2000, 509p.
- Lima, J.R. de S.; Antonino, A.C.D.; Lira, C.A.B. de O.; Silva, I. de F. da; Maciel Netto, A.; Souza, J.C. de; Bezerra, R.B. Evaporação da água de um solo sem vegetação no Brejo Paraibano. *Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento*, São Paulo, v.4, n.3, p.1550-1555, 2002.
- Loveland, P.J.; Whaley, R.W. Particle size analysis. In: Smith, K.A.; Mullins C.E (org.) *Soil analysis – Physical methods*. New York: Marcel Dekker, 271-328, 1991.
- Nóbrega, J.Q.; Rao, T.V.R.; Beltrão, N.E. de M.; Fidelis Filho, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.5, n.3, p.437-443, 2001.
- Reichardt, K.; Libardi, P.L.; Saunders, L.C.U.; Cadimaz, A. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.3, n.1, p.1-5, 1979.
- van Genuchten, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.44, p.892-898, 1980.