

## Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco

*Water fluxes in maize-brachiaria intercropping in the catchment of Rio Mundaú in Pernambuco State, Brazil*

Cássia Bezerra Machado<sup>1</sup>; José Romualdo de Sousa Lima<sup>2</sup>; Antonio Celso Dantas Antonino<sup>3</sup>; Edevaldo Muguel Alves<sup>4</sup>; Eduardo Soares de Souza<sup>5</sup>; Apolo Alves Ribeiro<sup>6</sup> e Francis Henrique Tenório Firmino<sup>7</sup>

<sup>1,2,6,7</sup>. Unidade Acadêmica de Garanhuns/Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, PE.

cassiamachado@hotmail.com; romualdo@uag.ufrpe.br; apolo\_alves@hotmail.com; francis-henrique@hotmail.com

<sup>3,4</sup> Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

acda@ufpe.br; edevaldofisica@gmail.com

<sup>5</sup> Unidade Acadêmica de Serra Talhada/Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, PE.

eduardosouza@uast.ufrpe.br

Recebido: 26/06/14 - Revisado: 02/09/14 - Aceito: 23/02/15

### RESUMO

No contexto das mudanças climáticas globais, estudos que determinem a evapotranspiração (ET) de culturas agrícolas e pastagens são de suma importância para se prever como essas mudanças afetarão o ciclo hidrológico. Muitos estudos têm medido a ET de pastagens, no entanto são escassos os trabalhos que mediram a ET e os outros componentes do balanço hídrico em pastagem consorciada com milho. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo determinar os componentes do balanço hídrico (ET, variação do armazenamento de água no solo, drenagem profunda, ascensão capilar e precipitação pluvial) de uma área cultivada no consórcio milho-pastagem, em condições de sequeiro na bacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. O experimento foi realizado na Fazenda Riacho do Papagaio, em São João (8° 52' 30" S, 36° 22' 00" O e 705 m), durante o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2013. Para a determinação dos componentes do balanço hídrico foram instalados sensores para medir a umidade volumétrica do solo nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m e um pluviômetro. Além disso, foram realizados ensaios de infiltração, para determinação da condutividade hidráulica saturada do solo, bem como determinação da curva de retenção da água no solo, em laboratório. Também foi determinada a evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>), pelo método de Penman-Monteith. Observou-se que os períodos com elevadas pluviosidades resultaram em maior armazenamento de água no solo e em maiores valores de ET. A ET durante todo o período experimental foi a principal saída de água do sistema, com valor total de 406,8 mm e médio de 1,1 mm d<sup>-1</sup>. Os valores médios de ET para o solo nu, consórcio milho-braquiária e braquiária solteira foram, respectivamente, 0,8; 1,5 e 1,1 mm d<sup>-1</sup>. O consórcio milho-pastagem sofreu estresse hídrico, em quase todo período experimental, tendo em vista os valores da relação ET/ET<sub>0</sub> serem inferiores a 1. O período mais propício ao desenvolvimento de forragens (milho e braquiária) na região é de abril a agosto.

**Palavras Chave:** Mudanças climáticas. Evapotranspiração. Balanço hídrico

### ABSTRACT

In the context of world climate changes, the quantification of evapotranspiration (ET) of crops and grasslands is extremely important to anticipate how these changes will affect the hydrological cycle. Many researches were made to measurement of ET on grasslands; however, there are few researches that measured ET and another soil water balance components in maize-pasture intercropping. The objective of this study was to assess the soil water balance components (soil water storage variations, drainage, capillary rise and evapotranspiration) of the maize-pasture intercropping under rainfed in the catchment Rio Mundaú, Pernambuco State. The study was carried out in an experimental area located at the "Riacho do Papagaio" farm (8° 52' 30" S, 36° 22' 00" W and 705 m), county of São João, from 01/01/2013 to 31/12/2013. TDR probes to measure the soil water content were installed at depths of 0.10, 0.20, 0.30 and 0.40 m. Rainfall was monitored with rain gauge installed on a tower at the center of the area. For the determination of drainage and capillary rise, infiltration tests were performed in field to obtain the saturated hydraulic conductivity. The soil water retention curve was determined in laboratory. The ET<sub>0</sub> was obtained by the Penman-Monteith method. It was observed that substantial soil water storage and ET values occurred in the high rainfall periods. The ET throughout the experimental period was the main water outlet of system with a total value of 406.8 mm and average of 1.1 mm d<sup>-1</sup>. The mean values of ET for periods with bare soil, maize-pasture intercropping and pasture alone were 0.8, 1.5 and 1.1 mm d<sup>-1</sup>, respectively. The maize-pasture intercropping must have suffered water stress, in almost all experimental period, due the values of the ratio ET/ET<sub>0</sub> being lower than the 1. The best period for the development of the forages (grasslands and maize) in the region is from april to august.

**Keywords:** Climate change. Evapotranspiration. Soil water balance

## INTRODUÇÃO

No Brasil, a região que é mais exposta aos riscos da variabilidade climática e a uma possível “aridização” e subsequente desertificação devido às mudanças climáticas é o Nordeste (SALAZAR et al., 2007). No Nordeste Brasileiro, região caracterizada em sua maior parte como semiárida, com grande variabilidade espacial e temporal das precipitações e elevada taxa de evaporação, estudos sugerem que as ações antrópicas e as mudanças climáticas globais agiriam, conjuntamente, para levar o sistema climático a um estado de equilíbrio mais seco que o atual, com efeitos sérios no balanço hidrológico e de nutrientes em ambientes naturais (OYAMA; NOBRE, 2004).

Na região semiárida, a maioria dos cenários de mudanças climáticas, com aumento da temperatura, sinaliza para o aumento da evaporação nos corpos d’água e, conseqüentemente, redução do volume neles escoado; redução da recarga dos aquíferos em até 70% até o ano 2050 e, portanto, da realimentação da vazão dos rios; concentração do período chuvoso em ainda menor espaço de tempo e com redução da precipitação (cenário pessimista: aumento da temperatura de 2 a 4°C e 15% a 20% a menos de chuva; cenário otimista: 1 a 3°C mais quente, 10% a 15% de redução de chuva); tendência de “aridização” da região, com a substituição da caatinga por vegetação mais típica de regiões áridas, como as cactáceas (CIRILO, 2008).

As evidências de mudanças climáticas globais já estão bem documentadas na literatura, com aumentos de longo prazo observados na temperatura média do ar (JONES; MOBERG, 2003) e na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico (KEELING et al., 1996). Contudo, ainda existem dúvidas relacionadas com as mudanças climáticas. Uma dessas é se a evapotranspiração (ET) está aumentando ou diminuindo (RYU et al., 2008).

Dentro do escopo das mudanças climáticas globais, estudos que determinem a evapotranspiração (ET) de culturas agrícolas e pastagens são de suma importância para se prever como essas mudanças afetarão o ciclo hidrológico, uma vez que a ET representa a principal saída de água de bacias hidrográficas.

Além disso, a quantificação dos principais componentes do balanço hídrico, entre eles a ET, é essencial para se planejar a utilização dos recursos hídricos de uma determinada área, por exemplo: utilização de água para irrigação.

Desse modo, devido a essa importância da ET, existem vários métodos de se determiná-la, sendo os dos balanços de água (balanço hídrico) e de energia uns dos mais utilizados (OLIVEIRA et al., 2010; LIMA et al., 2011; WARD et al., 2012; SILVA et al., 2013; GOMES et al., 2013; LIMA et al., 2013a; LIMA et al., 2013b; SOARES et al., 2013; SOUZA et al., 2013; MOREIRA et al., 2014).

As pastagens fornecem uma oportunidade especial de estudar a fisiologia do ecossistema em resposta às mudanças ambientais, pois esse ecossistema, em particular, mostra respostas assimétricas muito grandes à variação anual da precipitação pluvial e esse tipo de cobertura vegetal engloba aproximadamente 32% de toda vegetação natural do globo terrestre (PARTON et al., 1995). A atual área de pastagem no Brasil é de 151 milhões de hectares, o que corresponde a aproximadamente 17,8% do território (DIEESE, 2011). No estado de Pernambuco, a área

ocupada com pastagens é de 2,5 milhões de ha e representava 26% da área do estado em 2006 (IBGE, 2014).

Devido a importância da ET, bem como das pastagens, Silva et al. (2014) quantificaram os componentes do balanço hídrico em pastagens e encontraram que a ET teve um valor médio de 1,2 mm d<sup>-1</sup>. Além desses autores, outros quantificaram a ET de pastagens em várias áreas do mundo (RYU et al., 2008; MEIRELLES et al., 2011; KRISHNAN et al., 2012). No entanto, pesquisas que mediram os componentes do balanço hídrico em consórcio de milho-pastagens são escassas e nenhuma foi feita para a região nordeste do Brasil.

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo determinar os componentes do balanço hídrico no solo (evapotranspiração, variação do armazenamento de água no solo, drenagem profunda, ascensão capilar, precipitação pluvial) no consórcio milho-pastagem, em condições de sequeiro na bacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização, clima e solo da área experimental

As medidas para a realização do balanço hídrico foram efetuadas em uma área 16 ha cultivada no sistema de consórcio milho-braquiária, localizada na fazenda Riacho do Papagaio, no município de São João, na mesorregião do Agreste Meridional do Estado de Pernambuco (8°52’ 30” S e 36° 22’ 00” O, com altitude de 705 m), bacia hidrográfica do Rio Mundaú.

A bacia do Rio Mundaú possui uma área total de 4457,87 km<sup>2</sup>, com perímetro de 382,68 km, estando localizada nos estados de Alagoas (45%) e Pernambuco (55%). A maior parte da bacia está ocupada pela agropecuária, e pequenas partes por florestas, vegetação secundária, água. Ela tem como principais rios o Mundaú, Canhoto, Inhaúma e Satuba (MARCUIZZO et al., 2011). A área de drenagem da bacia em Pernambuco envolve 15 municípios. Dentre estes, 4 municípios estão inseridos em sua totalidade, quais sejam Angelim, Correntes, Palmerina e São João (APAC, 2015).

O clima predominante na região, segundo a classificação de Köppen, é o As, que equivale a um clima tropical chuvoso, com verão seco (BORGES JÚNIOR et al., 2012). De acordo com dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2014), a precipitação pluvial anual média é de 782 mm, sendo o quadrimestre mais chuvoso constituído dos meses de maio a agosto. O solo da área é classificado como Neossolo Regolítico eutrófico típico (SANTOS et al., 2012).

Em 2012 ocorreu uma das piores secas registradas nos últimos 50 anos na região, e assim, ocorreu destruição da pastagem que havia na área, a qual tinha sido implantada em 2000. Para a recuperação dessa pastagem, o produtor efetuou o plantio de milho (Zeamays) em consórcio com a pastagem de braquiária (*Brachiariadecumbens* Stapf.) em 12 de junho de 2013. O espaçamento do cultivo do milho foi de 1,0 m entre linhas e com sete (07) sementes por metro linear. Entre as linhas da cultura do milho foram implantadas duas linhas de braquiária. A Figura 1 mostra a disposição do consórcio milho-braquiária.



Figura 1 – Layout experimental do consórcio milho-braquiária

O objetivo do produtor rural em se fazer o plantio do milho conjuntamente com a braquiária foi fornecer silagem de milho para os animais da propriedade, além de recuperar a pastagem. Esse sistema de recuperação de pastagem vem sendo usado pelos produtores da região e é conhecido como Santa Fé.

### Coleta de amostras, instrumentação e medição dos componentes do balanço hídrico

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solo nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40; e 0,40-0,60 m. Essas amostras foram retiradas de três perfis e de cada camada foram coletadas três amostras.

Nas amostras deformadas, foi determinada a textura do solo, pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997). Nas amostras indeformadas determinou-se a densidade do solo, utilizando-se o amostrador de Uhland, com anéis de PVC com 0,05 m de altura e 0,05 m de diâmetro, conforme EMBRAPA (1997). A porosidade total foi obtida pela relação entre densidade do solo e densidade de partículas ( $2.650 \text{ kg m}^{-3}$ ).

Os dados dessa caracterização física do solo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise granulométrica, densidade do solo (Ds) e porosidade total (PT) do Neossolo Regolítico

Camada m	Areia g kg <sup>-1</sup>	Silte g kg <sup>-1</sup>	Argila g kg <sup>-1</sup>	Ds kg m <sup>-3</sup>	PT m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>
0-0,20	876,5	88,2	35,3	1.530	0,423
0,20-0,40	816,5	120,2	63,3	1.450	0,453
0,40-0,60	764,1	162,1	73,8	1.400	0,472

O estudo dos componentes do balanço hídrico foi realizado no período de 1º de janeiro a 31 de dezembro de 2013, totalizando 365 dias, o qual foi dividido em 12 subperíodos mensais. Esse período de monitoramento compreendeu o solo sem cultivo (janeiro a junho), cultivado com milho e braquiária (junho a setembro) e somente braquiária (setembro a dezembro).

O balanço hídrico em determinado volume de solo, num certo período de tempo (LIBARDI, 2000), é descrito pela equação (1):

$$\Delta A = P + I \pm Q - ES - ET \quad (1)$$

sendo  $\Delta A$  a variação de armazenamento de água no solo;  $P$  a precipitação;  $I$  a irrigação;  $Q$  o fluxo total de drenagem ( $-Q$ ) ou ascensão capilar ( $+Q$ );  $R$  o escoamento superficial; e  $ET$  a evapotranspiração, todos expressos em mm. Conhecendo-se todos os componentes do balanço hídrico, a  $ET$  é obtida como termo residual da equação (1).

Nas condições experimentais de campo, o fator irrigação ( $I$ ) foi nulo, pois o trabalho se realizou em condições de sequeiro. Considerou-se que não ocorreu escoamento superficial de água, em razão de o solo ter declividade inferior a 5% e elevada drenagem (BRITO et al., 2009; SILVA et al., 2014). A precipitação pluvial foi monitorada por meio de um pluviógrafo automatizado (modelo TE 525WS-L, Texas Electronics, USA), instalado numa torre no centro da área. A precisão do pluviógrafo é de 1% e as leituras foram feitas a cada minuto, com o valor total de cada 30 minutos armazenados num sistema de aquisição de dados (modelo CR1000, Campbell Scientific Inc., USA).

A variação no armazenamento de água no perfil de solo ( $\Delta A$ ) foi determinada pela diferença dos valores do armazenamento de água do perfil nos tempos inicial ( $A_i$ ) e final ( $A_f$ ) de cada período considerado, sendo expressa pela seguinte equação: sendo  $L$  a profundidade e  $\theta_f$  e  $\theta_i$  as umidades volumétricas final e inicial, respectivamente.

$$\Delta A = [\theta_f - \theta_i]L = A_f - A_i \quad (2)$$

Foi utilizada a regra do trapézio (LIBARDI, 2000) para calcular o armazenamento acumulado de água no solo, considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados, desde a superfície ( $z = 0$ ) até a profundidade de interesse ( $z = L = 0,30 \text{ m}$ ).

Para as determinações da umidade volumétrica do solo ( $\theta \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), foram instalados sensores automatizados tipo TDR (modelo CS 616 da Campbell Scientific Inc., USA) nas profundidades de 0,10; 0,20; 0,30 e 0,40 m. As leituras foram realizadas a cada minuto com o valor de cada 30 min armazenados num sistema de aquisição de dados (modelo CR1000, Campbell Scientific Inc., USA). Foi usada a equação de calibração do fabricante, pois Lima et al. (2006a), ao compararem a umidade volumétrica medida com esses sensores, com medidas gravimétrica e de sonda de nêutrons, não encontraram diferença estatística entre os valores de umidade do solo.

O fluxo total de água ( $Q$ ), ou seja, as perdas por drenagem ( $-Q$ ) ou os ganhos por ascensão capilar ( $+Q$ ), de água da zona radicular por meio do limite inferior do volume de solo estudado ( $z = 0,30 \text{ m}$ ), respectivamente, foram determinados a partir da equação (3), de acordo com Silva et al. (2014):

$$\int_0^t q dt = q \int_0^t dt = q(t - 0) = q\Delta t \quad (3)$$

sendo  $q$  ( $\text{mm d}^{-1}$ ) a densidade de fluxo de água no limite inferior do volume de solo delimitado pela zona radicular e  $dt$  o intervalo de tempo de estudo do balanço hídrico. As densidades de fluxo  $q$  foram estimadas com base na equação de Darcy-Buckingham:

$$q = -K(\theta) \frac{\Delta\phi t}{\Delta z} \quad (4)$$

sendo  $K(\theta)$  ( $\text{mm d}^{-1}$ ) a condutividade hidráulica não saturada e  $\Delta\psi_t/\Delta z$  o gradiente de potencial total em  $z = 0,30$  m.

O gradiente de potencial total foi calculado com os valores obtidos nas profundidades de 0,20 e 0,40 m. O potencial total ( $\psi_t$ ) foi igual ao potencial matricial ( $h$ ) mais o potencial gravitacional ( $\psi_g$ , que corresponde a profundidade).

O potencial matricial, na escala diária, foi obtido por meio da equação de van Genuchten (1980), utilizando-se os dados da curva de retenção e da umidade volumétrica do solo (também obtidos diariamente por meio dos sensores TDR), para as profundidades de 0,10; 0,20; 0,30; e 0,40 m. A curva de retenção de cada profundidade foi obtida em laboratório, usando-se Extrator de Richards nas pressões de 0,01; 0,033; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7 e 1,5 MPa. Posteriormente, esses dados foram ajustados à equação de van Genuchten (1980):

$$\theta(h) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r)[1 + |\alpha h|^n]^{-m} \quad (5)$$

com a hipótese de Burdine (1953):

$$m = 1 - \frac{2}{n} \quad (6)$$

Sendo  $\theta_s$  a umidade volumétrica saturada do solo,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ;  $\theta_r$  a umidade volumétrica residual do solo,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ;  $\alpha$  o inverso da pressão de borbulhamento a partir da qual a água começa a ser drenada do solo previamente saturado,  $\text{cm}^{-1}$ , e  $n$  e  $m$  são parâmetros de ajuste da equação.

O parâmetro  $\theta_s$  foi obtido por pesagem direta da amostra, após saturação. Os parâmetros  $\alpha$  e  $n$  foram obtidos por meio da rotina Solver da planilha eletrônica Excel. O parâmetro  $\theta_r$  foi igual a 0,0, de acordo com procedimento adotado em Antonino et al. (2005).

A condutividade hidráulica do solo não saturado,  $K(\theta)$ , foi obtida por meio da equação de Brooks e Corey (1964):

$$IAF = \frac{AF}{AS} \quad (7)$$

sendo  $K_s$  ( $\text{mm d}^{-1}$ ) a condutividade hidráulica saturada do solo e  $\eta$  um parâmetro de ajuste da equação.

A  $K_s$  foi obtida por meio de ensaios de infiltração, com infiltrômetro de anel simples com 15 cm de diâmetro, nas profundidades de 0,20 e 0,40 m, utilizando-se o método proposto por Haverkamp et al. (1994).

Os valores dos parâmetros das equações de van Genuchten (1980), para a curva de retenção (Equação 5) e de Brooks e Corey (1964), para a curva de condutividade hidráulica (Equação 7), estão descritos na Tabela 2.

**Tabela 2 – Valores dos parâmetros das curvas de retenção da água no solo [ $\theta(h)$ ] e da condutividade hidráulica [ $K(\theta)$ ] nas profundidades 0,20 e 0,40 m**

Camada m	n	$\alpha$ $\text{m}^{-1}$	$\theta_s$ $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$	$\eta$	$K_s$ $\text{mm d}^{-1}$
0-0,20	2,29	0,012	0,299	9,97	984,1
0,20-0,40	2,27	0,110	0,326	10,63	628,6

## Medição da biomassa e do índice de área foliar

Para a medição da biomassa do milho e da braquiária foram jogados aleatoriamente na área quadrados metálicos (05 repetições) de  $01 \text{ m}^2$  e coletado o material vegetal acima do solo, os quais foram acondicionados e devidamente pesados. Após, foram colocados para secar em estufa de circulação forçada de ar por 72 horas, a  $65^\circ\text{C}$  e posteriormente a matéria seca foi pesada.

Do material que foi colhido na área de  $01 \text{ m}^2$  foi determinada sua área foliar por meio de um analisador automático de área foliar e após foi determinado o índice de área foliar (IAF), por meio da equação (7):

$$IAF = \frac{AF}{AS} \quad (7)$$

sendo AF a área foliar total das plantas,  $\text{m}^2$  e AS a área superficial de solo,  $\text{m}^2$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação diária da precipitação pluvial e da umidade volumétrica nas camadas de 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m durante o período de 01/01 a 31/12/2013 é apresentada na Figura 2.

Observa-se que a precipitação pluvial apresentou valores mais frequentes durante o período de abril a setembro (que incluiu o período do consórcio), sendo que nos meses de outubro a dezembro (período de braquiária solteira) também ocorreram precipitações, mas sem a mesma frequência. Observa-se também que de janeiro a março (período de solo nu) praticamente não ocorreram precipitações. De acordo com Silva et al. (2010), que estudaram a variabilidade pluviométrica na bacia do Rio Mundaú, o período mais seco é de setembro a dezembro e o mais chuvoso de março a agosto, corroborando os resultados dessa pesquisa.

A distribuição da precipitação para o ano de 2013 segue o padrão normalmente encontrado para a região. No entanto, em relação ao total precipitado durante o ano de 2013 (416,1 mm), verifica-se que o mesmo correspondeu a apenas 53,2% do valor da média histórica, que segundo a APAC (2014) é de 782 mm.

A precipitação pluvial atingiu seu maior valor (28,0 mm) nos dias 28/04 e 17/12/2013. No período do experimento ocorreram mais quatro dias que se destacam com valores de precipitação pluvial acima de 10 mm: 19/04/2013, com 12,9 mm; 02/07/2013, com 21,7 mm; 11/10/2013, com 13,9 mm e 02/11/2013, com 17,0 mm.

Observa-se, ainda na Figura 2, que a umidade volumétrica do solo seguiu as variações de precipitação pluvial, aumentando ou diminuindo os valores de umidade em razão da presença ou ausência de precipitação. As camadas mais superficiais (0-0,10 e 0,10-0,20 m) possuem maiores variações nos valores de umidade volumétrica, quando comparadas às camadas mais profundas (0,20-0,30 e 0,30-0,40 m), sendo que as camadas 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m possuem valores mais elevados de umidade volumétrica. Esses maiores valores de umidade nas

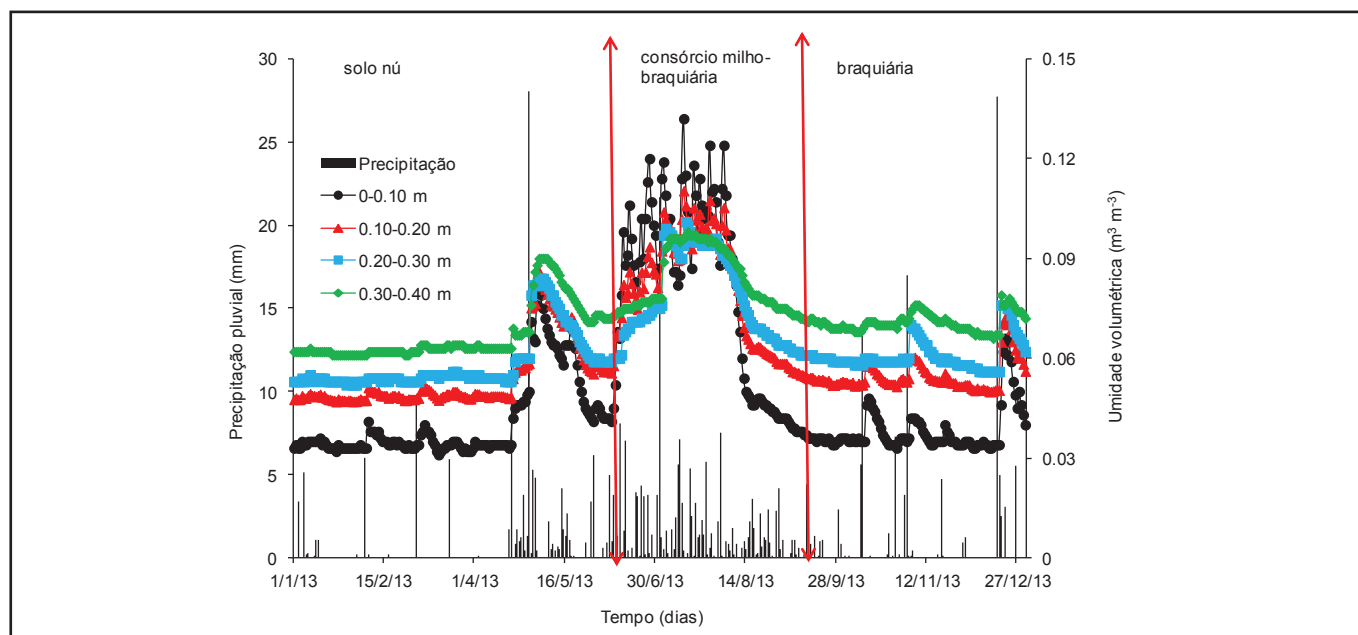


Figura 2 – Precipitação pluvial e umidade volumétrica do solo durante o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2013, em São João-PE

camadas mais profundas podem ser devido a menor densidade do solo e maior porosidade total, bem como ao maior teor de argila (Tabela 1).

Além disso, de acordo com Silva et al. (2014), a atuação conjunta dos componentes atmosféricos e do sistema radicular da pastagem, concentrando nas camadas mais superficiais do solo, é responsável pela retirada de água dele, assim explicando a maior variação dos valores de umidade volumétrica nas camadas mais superficiais, principalmente na camada de 0,0-0,10 m. Entretanto, nessas camadas a recarga hídrica acontece também de forma mais efetiva. Cruz et al. (2005) verificaram que na estação mais chuvosa as camadas mais superficiais do solo contribuíram com mais de 70% da água evapotranspirada.

Por serem gramíneas, tanto a braquiária quanto o milho têm a maior densidade de suas raízes nas camadas mais superficiais do solo, fazendo com que ocorra maior absorção de água nessas camadas. Silva et al. (2014) realizaram experimento com braquiária e encontraram que mais de 90% do sistema radicular

da braquiária se localizou na camada de 0-0,20 m.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de biomassa e do índice de área foliar (IAF) do milho e da braquiária durante o período experimental.

Ocorreram sete coletas para a biomassa e IAF do milho e oito coletas para a biomassa e IAF da braquiária, sendo que as coletas de braquiária somente começaram em 30/07/2013 e a do milho em 06/07/2013. Isso ocorreu porque o milho foi plantado junto com a braquiária e o mesmo emerge e se desenvolve mais rápido que a braquiária.

Observa-se que a biomassa do milho teve seu maior valor (3.851,4 kg<sub>ha</sub><sup>-1</sup>) no dia 06/08/2013 e a braquiária (2.922,2 kg<sub>ha</sub><sup>-1</sup>) em 13/09/2013. Observa-se, também, que a biomassa do milho começa com menores valores, chega ao seu máximo e depois diminui, devido à senescência da cultura, sendo que o mesmo ocorre em relação à braquiária. No entanto, essa diminuição da biomassa da braquiária em novembro e dezembro deve ter ocorrido em função da redução da pluviosidade e umidade do solo (Figura 2).

Jongen et al. (2011) encontraram uma variação sazonal da biomassa de pastagens na região mediterrânea em Portugal, devido a variabilidade da precipitação pluvial. Do mesmo modo, Gondim et al. (2015), em estudo dos componentes do balanço de energia e evapotranspiração em pastagem de braquiária, também encontraram essa sazonalidade dos valores de biomassa, em função da precipitação pluvial.

Em relação ao índice de área foliar (IAF), observa-se que o maior valor foi obtido na cultura do milho, em 30/07/2013, com 2,59, o que é esperado, já que o milho é uma planta de maior porte quando comparado com a braquiária. Já a braquiária obteve o seu maior IAF no dia 12/12/2013, com 0,68 durante o período em que estava no cultivo solteiro (Tabela 3).

Valores similares de IAF foram encontrados por Jamiyansharav et al. (2011) em pastagens nos Estados Unidos.

Tabela 3 – Biomassa e índice de área foliar (IAF) do milho e da braquiária durante o período experimental

Data	Biomassa kg <sub>ha</sub> <sup>-1</sup>		IAF	
	milho	braquiária	milho	braquiária
06/07/2013	198,2		0,27	
25/07/2013	2.087,6		1,81	
30/07/2013	2.969,5	135,1	2,59	0,05
06/08/2013	3.851,4	287,6	2,24	0,06
23/08/2013	3.598,0	632,5	1,40	0,15
06/09/2013	3.141,7	1.992,0	0,62	0,39
13/09/2013	2.999,1	2.922,2	0,57	0,51
02/11/2013		2.037,2		0,60
22/11/2013		1.797,9		0,63
12/12/2013		1.503,3		0,68

A evolução dos componentes do balanço hídrico durante o período de 01/01 a 31/12/2013 é apresentada na Tabela 4. A camada de solo em que foi realizado o balanço hídrico foi de 0-0,30 m, que, de acordo com Silva et al. (2014), corresponde à profundidade efetiva do sistema radicular da braquiária e do milho.

**Tabela 4 – Componentes do balanço hídrico em solo nu (01/01 a 30/06/2013), no consórcio milho-braquiária (01/07 a 30/09/2013) e em braquiária (01/10 a 31/12/2013)**

Subperíodo	Dias	P	$\Delta A$	Q	ET
-----mm-----					
01/01 a 31/01	31	11,3	-0,6	0,0	11,9
01/02 a 28/02	28	6,6	0,4	0,0	6,2
01/03 a 31/03	31	15,2	0,8	-0,1	14,3
01/04 a 30/04	30	58,5	12,1	-0,1	46,3
01/05 a 31/05	31	32,0	-8,7	-0,5	40,2
01/06 a 30/06	30	54,7	12,2	-0,3	42,2
01/07 a 31/07	31	78,4	3,7	-3,4	71,3
01/08 a 31/08	31	41,0	-15,3	-0,8	55,5
01/09 a 30/09	30	17,0	-2,5	-0,1	19,4
01/10 a 31/10	31	29,1	0,7	-0,1	28,3
01/11 a 30/11	30	27,3	-1,2	-0,1	28,4
01/12 a 31/12	31	45,0	2,0	-0,2	42,8
<b>Total</b>		<b>416,1</b>	<b>3,6</b>	<b>-5,7</b>	<b>406,8</b>

P, precipitação pluvial;  $\Delta A$ , variação do armazenamento de água no solo; Q, fluxo de água no solo (valores negativos indicam drenagem e positivos, ascensão capilar); e ET, evapotranspiração.

Observa-se que a precipitação (P) teve seus maiores valores nos subperíodos de abril a agosto e os menores de janeiro a abril. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Silva et al. (2009), que estudaram o IAC (Índice de Anomalia de Chuva) na região do Alto Mundaú (o município de São João se encontra nessa região).

$\Delta A$  (variação do armazenamento de água no solo) acompanhou as variações da precipitação pluvial, sendo seu valor total em todo período analisado de 3,6mm.  $\Delta A$  apresentou uma oscilação de -15,3 a +12,2 mm, o que evidencia que em determinados períodos ocorreu perda de água, isto é, as perdas por drenagem (-Q) e seu consumo pela cultura mais a evaporação da água diretamente da superfície do solo (ET) foi superior à quantidade fornecida pela precipitação (P), e em outros períodos ocorreu ganho de água.  $\Delta A$  corresponde ao saldo de água no solo, se no intervalo de tempo considerado as entradas (precipitação e ascensão capilar) de água no volume de solo forem maiores que as saídas (evapotranspiração e drenagem) a  $\Delta A$  será positiva (isto ocorreu em 07 subperíodos), caso contrário será negativa (isto ocorreu em 05 subperíodos).

Esse comportamento do  $\Delta A$  é o esperado, uma vez que com maior volume de chuvas deve ocorrer uma  $\Delta A$  positiva e, caso contrário, negativa. Vários autores (GOMES et al., 2013; LIMA et al., 2013a; SILVA et al., 2014), que usaram a metodologia do balanço hídrico no solo, encontraram resultados semelhantes.

Em relação ao fluxo de água no limite inferior do volume de solo (Q), quer seja drenagem (-Q) ou ascensão capilar (+Q), observou-se que ocorreu somente drenagem e que esse também seguiu as variações da precipitação pluvial, com

maior drenagem nos períodos de maior precipitação. O maior evento de drenagem ocorreu no subperíodo 07 (01/07/2013 a 31/07/2013) com -3,4 mm; o valor total de drenagem no período experimental foi de apenas -5,7 mm, o que representa 1,4% de toda a água fornecida via precipitação pluvial.

Esse resultado do fluxo de água no limite inferior do volume de solo (Q) foi bem abaixo do encontrado por Silva et al. (2014). No entanto, outros autores usando o método do balanço hídrico, como Lima et al. (2006b) e Souza et al. (2013), também encontraram baixos valores de drenagem. De acordo com Allen et al. (2011), o termo drenagem e/ou ascensão capilar é um dos de mais difícil medição e uma das principais fontes de erro, quando se determina a ET pelo método do balanço hídrico.

Observou-se que os maiores valores de evapotranspiração (ET), ocorreram nos subperíodos de maiores eventos de precipitação pluvial (abril a agosto). Verificou-se também que o subperíodo 7 (01/07/2013 a 31/07/2013) com 71,3 mm obteve o maior valor; entretanto, o menor valor de ET foi observado no subperíodo 2 (01/02/2013 a 28/02/2013), com 6,2 mm. Essa diferença pode ser explicada pelo fato de que no subperíodo 7 ocorreu o maior valor de precipitação pluvial (78,4 mm), enquanto no subperíodo 2 só ocorreram 6,6 mm de precipitação.

Durante o período analisado (01/01/2013 a 31/12/2013) a ET total foi de 406,8 mm, sendo que esse valor está abaixo do encontrado por Gondim et al. (2015), que mediram a ET de pastagem na mesma área de estudo e encontraram um valor total de 543,8 mm, durante o período de 01/01/2011 a 31/12/2011. A diferença nos valores de ET pode ser devido à quantidade de precipitação, uma vez que no trabalho de Gondim et al. (2015) a precipitação total foi 523,7 mm, enquanto nesta pesquisa choveu 416,1 mm (Tabela 4).

De acordo com Prevedello et al. (2007), a adição de água ao sistema tem importante efeito no armazenamento de água no solo, contribuindo diretamente para o aumento da ET.

Na Figura 3 são apresentados os valores médios diários da precipitação pluvial (P), da evapotranspiração (ET), da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), além dos valores da relação ET/ET<sub>o</sub>, durante os 12 meses avaliados.

Verificou-se que existe uma relação direta entre precipitação pluvial (P) e evapotranspiração diária (ET), com os maiores valores de ET ocorrendo nos períodos de maior disponibilidade hídrica; por exemplo, no subperíodo 7 (mês de julho de 2013), a ET foi de 2,3 mm d<sup>-1</sup> e a precipitação foi de 2,5 mm d<sup>-1</sup>. Fazendo-se uma análise de regressão linear entre a P e a ET foi obtido um R<sup>2</sup> de 0,88; ou seja, para as condições em que a pesquisa foi realizada pode-se estimar a ET diária por meio da precipitação diária com uma confiança de 88%.

Observa-se, ainda, que a ET variou de 0,2 a 2,3 mm d<sup>-1</sup>, com valor médio de 1,1 mm d<sup>-1</sup>. Esse valor médio está muito próximo do encontrado por Silva et al. (2014) para braquiária solteira cultivada na mesma área experimental, que foi de 1,2 mm d<sup>-1</sup>. No entanto, está abaixo de outros valores encontrados para braquiária solteira (MEIRELLES et al., 2011; KRISHNAN et al., 2012), milho consorciado com mucuna (SOUZA et al., 2012) e milho solteiro (LI et al., 2008).

Deve-se ressaltar que os valores de ET para o consórcio milho-pastagem ocorreram no período de junho a setembro,

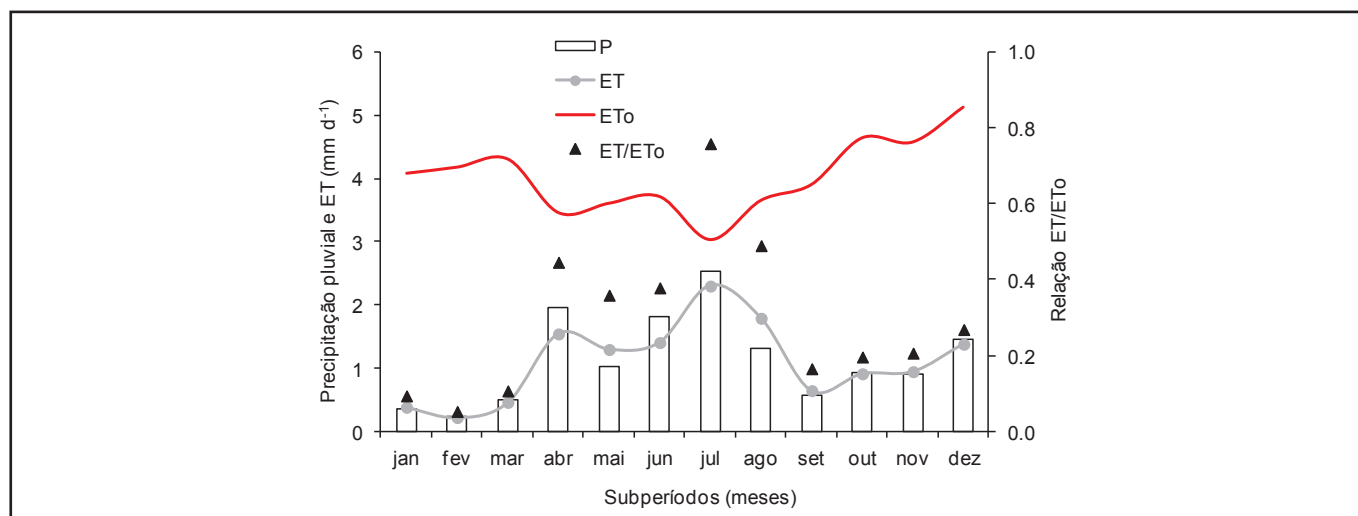


Figura 3 – Precipitação pluvial (P), evapotranspiração real (ET) e de referência (ETo) e razão ET/ETo durante o período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2013, em São João-PE

quando o milho e a braquiária estavam concomitantemente na área. De janeiro a junho o solo estava nu e de setembro a dezembro apenas com braquiária. Desse modo, os valores médios de ET para o solo nu, consórcio milho-braquiária e braquiária solteira foram, respectivamente, 0,8; 1,5 e 1,1 mm d<sup>-1</sup>.

Em relação à evapotranspiração de referência (ETo) foi observado que os valores mais baixos (inferiores a 4,0 mm d<sup>-1</sup>) ocorreram nos meses de maio a agosto; e os maiores valores (acima de 4,0 mm d<sup>-1</sup>) ocorreram nos outros meses. Assim, observa-se que existe uma relação inversa entre precipitação e ETo, uma vez que nos períodos mais chuvosos a ETo foi menor e vice-versa. De acordo com Collischonn e Tucci (2014), a relação inversa entre precipitação e ETo é explicada, principalmente, pela maior insolação e menor umidade do ar em dias secos, e em menor parte, pela maior temperatura média do ar nestas condições.

Os valores de ETo variaram de 3,0 a 5,1 mm d<sup>-1</sup>, com média de 4,0 mm d<sup>-1</sup>. Lima et al. (2013c) mediram a ETo para a mesma região dessa pesquisa e encontraram que a mesma variou de 2,0 a 4,1 mm d<sup>-1</sup>, com média de 3,1 mm d<sup>-1</sup>. Borges Júnior et al. (2012) também mediram a ETo para a mesma região e encontraram resultados semelhantes.

A razão ET/ETo pode indicar se a cultura está sofrendo estresse hídrico, uma vez que essa relação expressa o consumo relativo de água. Desse modo, observou-se que, à exceção do mês de julho, o consórcio milho-braquiária e braquiária solteira sofreram estresse hídrico, pois a relação ET/ETo ficou abaixo de 1 (média de 0,4). Resultados semelhantes a essa pesquisa foram encontrados por Gomes et al. (2013) e Silva et al. (2014).

A sazonalidade dos valores de ET (Tabela 4 e Figura 3) é explicada, além da cultura e sistema de manejo, pela própria variabilidade climática, que afeta a precipitação pluvial e a umidade do solo e, conseqüentemente, a ET. Assim sendo, para caracterizar adequadamente os valores de ET de uma determinada cultura e região, fazem-se necessários estudos de longo prazo (3-5 anos), medindo continuamente os componentes do balanço hídrico e variáveis climáticas, como a temperatura do ar, radiação solar, velocidade do vento, dentre outros.

No entanto, os dados dessa pesquisa, com valores obtidos diariamente durante 01 ano, podem ser usados para indicar os períodos mais propícios (abril a agosto) e os períodos menos favoráveis (setembro a março) ao desenvolvimento de forragens (milho e capim braquiária). Desse modo, os produtores da região podem fazer um planejamento mais racional do manejo dessas forragens.

## CONCLUSÕES

Os períodos com maior pluviosidade resultaram em maior armazenamento de água no solo, e em maiores valores de evapotranspiração.

A ET durante todo o período experimental foi a principal saída de água do sistema, com valor total de 406,8 mm e médio de 1,1 mm d<sup>-1</sup>.

O consórcio milho-braquiária sofreu estresse hídrico, em quase todo período experimental, tendo em vista os valores da relação ET/ETo serem abaixo de 1 (0,05 a 0,8).

O período mais propício ao desenvolvimento de forragens (milho e braquiária) na região é de abril a agosto, sendo os meses de setembro a março os menos favoráveis.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (processos 475094/2009-3; 551922/2011-7; 183965/2011-6; 182074/2012-9; 307641/2013-9; 312218/2013-3); à FACEPE (processos IBP-G-0896-5.01/11; APQ-1178-3.01/10 e APQ-0077-5.01/09); à FINEP (projeto “Estudos hidrológicos e sedimentológicos em Bacias experimentais e representativas do semiárido e cerrado”), pelo suporte financeiro e bolsas e ao Professor Antonio de Pádua Montenegro, pela disponibilização da área experimental.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T.A.; JENSEN, M.E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement and accuracy. *Agricultural Water Management*, v.98, n.6, p.899-920, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377411000023>>. Acesso em: 10 mar. 2014.
- ANTONINO, A.C.D.; HAMMECKER, C.; MONTENEGRO, S.M.L.G.; NETTO, A.M.; ANGULO-JARAMILLO, R.; LIRA, C.A.B.O. Subirrigation of landbordering small reservoirs in the semi-arid region in the North east of Brazil: monitoring and water balance. *Agricultural Water Management*, v.73, n.2, p.131-147, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377404002689>>. Acesso em: 05 mar. 2014.
- APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br>>. Acesso em: 05 mar. 2014
- APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. Bacias hidrográficas. Disponível em: <[http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page\\_id=5&subpage\\_id=19](http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=19)>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- BORGES JÚNIOR, J.C.F.; ANJOS, R.T.; SILVA, T.J.A.; LIMA, J.R.S.; ANDRADE, C.L.T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.4, p.380-390, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n4/v16n04a08.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2015.
- BRITO, A.S.; LIBARDI, P.L.; GIBERTO, P.J. Componentes do balanço de água no solo com cana-de-açúcar, com e sem adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, n.2, p.295-303, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v33n2/07.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2014.
- BROOKS, R.H.; COREY, A.T. Hydraulic properties of porous media. *Hydrology Paper*, n.3, Fort Collins: Colorado State University, 1964, 27p.
- BURDINE, N.T. Relative permeability calculation from size distribution data. *Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineering*, v.198, p.71-78, 1953.
- COLLISCHONN, B.; TUCCI, C.E.M. Relações Regionais entre Precipitação e Evapotranspiração Mensais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.19, n.3, p.205-214, 2014. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/b3c45a301ee86434582e4df19d6e7586\\_bbc603a569cf8bb1a2f-44da509bbb8e4.pdf](http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/b3c45a301ee86434582e4df19d6e7586_bbc603a569cf8bb1a2f-44da509bbb8e4.pdf)>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- CIRILO, J. A. Políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. *Estudos Avançados*, v.22, n.63, p.61-82, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/estav/v22n63/61-82.pdf>>. Acesso em: 08 abr. 2014.
- CRUZ, A.C.R.; LIBARDI, P.L.; CARVALHO, L.A.; ROCHA, G.C. Balanço de água em volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citrus. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.1, p.1-10, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v29n1/23516.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2014.
- DIEESE – DEPARTAMENTO INTERSINDICAL DE ESTATÍSTICA E ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS. Estatísticas do meio rural 2010-2011. 4.ed. Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural; Ministério do Desenvolvimento Agrário. - São Paulo: DIEESE; NEAD; MDA, 292p. 2011.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de Métodos de Análises de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212p.1997.
- GOMES, C.A.; LIMA, J.R.S.; PADILHA, K.M.; ANTONINO, A.C.D.; BORGES JÚNIOR, J.C.F.; SOUZA, E.S.; MONTENEGRO, S.M.G.L. Uso de Água em Cultivo de Mamona no Agreste Meridional de Pernambuco. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.18, n.4, p.77-87, 2013. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/27259af2ea9ae-0a79558d33d1f071063\\_5728137786880137ba5a15e531880c21.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/27259af2ea9ae-0a79558d33d1f071063_5728137786880137ba5a15e531880c21.pdf)>. Acesso em: 05 mar. 2014.
- GONDIM, P.S.S.; LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; HAMMECKER, C.; SILVA, R.A.B.; GOMES, C.A. Environmental control on water vapour and energy exchanges over grasslands in semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.19, n.1, p.3-8, 2015. Disponível em: <<http://agriambi.com.br/revista/v19n01/v19n01a01.pdf>>. Acesso em: 05 jan. 2015.
- HAYERKAMP, 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 Resources Research*, v.30, n.11, p.2931-2935, 1994. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/94WR01788/abstract>>. Acesso em: 05 mar. 2014.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo agropecuário 2006. Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 08 abr. 2014.
- JAMIYANSHARAV, K.; OJIMA, D.; PIELKE, R.A.; PARTON, W.; MORGAN, J.; BELTRÁN-PRZEKURAT, A.; LE CAIN, D.; SMITH, D. Seasonal and interannual variability in surface energy partitioning and vegetation cover with grazing at short grass steppe. *Journal of Arid Environments*, v.75, p.360-70, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196310003174>>. Acesso em: 31 jan. 2015.
- JONES, P.D.; MOBERG, A. Hemispheric and large-scale sur-



face air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*, v.16, n.2, p.206-223, 2003. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/abs/10.1175/1520-0442%282003%29016%3C0206%3AHALSSA%3E2.0.CO%3B2>>. Acesso em: 08 mar. 2014.

JONGEN, M.; PEREIRA, J.S.; AIRES, L.M. I.; PIO, C.A. The effects of drought and timing of precipitation on the inter-annual variation in ecosystem-atmosphere exchange in a Mediterranean grassland. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.151, p.595-606, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016819231100027X>>. Acesso em: 31 jan. 2015.

KEELING, C.D.; CHIN, J.F.S.; WHORF, T.P. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO<sub>2</sub> measurements. *Nature*, v.382, p.146-149, 1996. Disponível em: <<http://www.nature.com/nature/journal/v382/n6587/pdf/382146a0.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2014.

KRISHNAN, P.; MEYERS, T.P.; SCOTT, R.L.; KENNEDY, L.; HEUER, M. Energy exchange and evapotranspiration over two temperate semi-arid grasslands in North America. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.153, p.31-44, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168192311002930>>. Acesso em: 08 mar. 2014.

LI, S.; KANG, S.; LI, F.; ZHANG, L. Evapotranspiration and crop coefficient of spring maize with plastic mulch using eddy covariance in northwest China. *Agricultural Water Management*, v.95, n.11, p.1214-1222, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377408001169>>. Acesso em: 08 mar. 2014.

LIBARDI, P.L. Dinâmica da água no solo. 2.ed. Piracicaba: ESALQ, 2000. 509p.

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; ANDRADE, A.P.; SOUZA, C.; SOARES, W.A.; SOUZA, E.S.; SILVA, I.F. Comparação da sonda de nêutrons e de sensores tipo TDR para a determinação dos componentes do balanço hídrico no solo e evapotranspiração do feijão caupi. *Revista Agropecuária Técnica*, v.27, n.1, p.21-29, 2006a. Disponível em: <[http://www.cca.ufpb.br/revista/pdf/2006\\_1\\_3.pdf](http://www.cca.ufpb.br/revista/pdf/2006_1_3.pdf)>. Acesso em: 05 mar. 2014.

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; HAMMECKER, C.; LIRA, C.A.B.O.; SOUZA, E. S. Water and energy flux measurements in rainfed cowpea cultivated in North east Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, n.2, p.297-304, 2013a. Disponível em: <[http://agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria\\_v8i2a2090&path%5B%5D=1365](http://agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v8i2a2090&path%5B%5D=1365)>. Acesso em: 05 mar. 2014.

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; LIRA, C.A.B.O.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. *Revista Ciência Agronômica*, v.42, n.1, p.65-74, 2011. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1118>>. Acesso

em: 05 mar. 2014.

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOARES, W.A.; SOUZA, E.S.; LIRA, C.A.B.O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.1, n.1, p.89-95, 2006b. Disponível em: <<http://agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=59&path%5B%5D=138>>. Acesso em: 05 mar. 2014.

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOUZA, E.S.; HAMMECKER, C.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; LIRA, C.A.B.O. Calibration of Hargreaves-Samani Equation for Estimating Reference Evapotranspiration in Sub-Humid Region of Brazil. *Journal of Water Resource and Protection*, v.5, n.12A, p.1-5, 2013c. Disponível em: <<http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=41599>>. Acesso em: 05 mar. 2014.

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOUZA, E.S.; LIRA, C.A.B.O.; SILVA, I.F. Seasonal and interannual variations of evapotranspiration, energy exchange, yield and water use efficiency of castor grown under rainfed conditions in northeastern Brazil. *Industrial Crops and Products*, v.50, n.1, p.203-211, 2013b. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669013003488>>. Acesso em: 08 mar. 2014.

MARCUZZO, F.F.N.; ROMERO, V.; CARDOSO, M.R.D. Detalhamento Hidromorfológico da Bacia do Rio Mundaú. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XIX. 2011, Maceió-AL. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/51e4022430fce393adf1818e7726eff1\\_e58391e50c66641b97c69f50adce68fc.pdf](https://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/51e4022430fce393adf1818e7726eff1_e58391e50c66641b97c69f50adce68fc.pdf)>. Acesso em: 05 jan 2015.

MEIRELLES, M.L.; FRANCO, A.C.; FARIAS, S. E. M.; BRACHO, R. Evapotranspiration and plant-atmospheric coupling in a Brachiaria-brizantha pasture in the Brazilian savannah region. *Grass and Forage Science*, v.66, p.206-213, 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2494.2010.00777.x/abstract>>. Acesso em: 08 mar. 2014.

MOREIRA, N.B.; LIBARDI, P.L.; SALVADOR, M.M.S.; SOUSA, H.H.F. Análise espaço-temporal de componentes do balanço hídrico em um Latossolo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n.1, p.60-72, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832014000100006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832014000100006&script=sci_arttext)>. Acesso em: 31 mar. 2014.

OLIVEIRA, N.T.; CASTRO, N.M.R.; GOLDENFUM, J.A. Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.15, n.2, p.93-103, 2010. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/badad595c7be26723f4bc4b1b0d9d5f4\\_4e85210f167a-188dc2f2cbc2cba69027.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/badad595c7be26723f4bc4b1b0d9d5f4_4e85210f167a-188dc2f2cbc2cba69027.pdf)>. Acesso em: 31 mar. 2014.

OYAMA, M.D.; NOBRE, C.A. Climatic consequence of a large-scale desertification in North east of Brazil: a GCM simulation study. *Journal of Climate*, v.17, p.3203-3213, 2004.

Disponível em: <[http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/10.13.16.39/doc/Oyama\\_Climatic%20consequences.pdf](http://mtc-m15.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/walmeida/2004/10.13.16.39/doc/Oyama_Climatic%20consequences.pdf)>. Acesso em: 05 mar. 2014.

PARTON, W.J.; SCURLOCK, J.M.O.; OJIMA, D.S.; SCHIMEL, D.S.; HALL, D.O. Impact of climate change on grassland production and soil carbon world wide. *Global Change Biology*, v.1, n.1, p.13-22, 1995. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.1995.tb00002.x/abstract>>. Acesso em: 06 mar. 2014.

PREVEDELLO C.L.; MAGGIOTTO, S.R.; LOYOLA, J.M.T.; DIAS, N.L.; BEPLER NETO, G. Balanço de água por aquisição automática de dados em cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, n.1, p.1-8, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832007000100001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832007000100001&script=sci_arttext)>. Acesso em: 06 mar. 2014.

RYU, Y.; BALDOCCHI, D.D.; MA, S.; HEHN, T. Interannual variability of evapotranspiration and energy exchange over an annual grassland in California. *Journal of Geophysical Research*, v.113, D09104, 2008. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2007JD009263/abstract>>. Acesso em: 08 mar. 2014.

SALAZAR, L.F.; NOBRE, C.A.; OYAMA, M.D. Climatic change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, v.34, L09708, 2007. Disponível em: <[http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/09.24.11.34/doc/salazar\\_climate.pdf](http://mtc-m17.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/09.24.11.34/doc/salazar_climate.pdf)>. Acesso em: 08 mar. 2014.

SANTOS, J.C.B.; SOUZA JÚNIOR, V.S.; CORRÊA, M.M.; RIBEIRO, M.R.; ALMEIDA, M.C.; BORGES, L.E.P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.36, n.3, p.683-696, 2012. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832012000300001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832012000300001&script=sci_arttext)>. Acesso em: 08 mar. 2014.

SILVA, D.F.; SOUSA, F.A.S.; KAYANO, M.T. Escalas temporais da variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Mundaú. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, n.3, p.324-332, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862010000300004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-77862010000300004&script=sci_arttext)>. Acesso em: 31 jan. 2015.

SILVA, D.F.; SOUSA, F.A.S.; KAYANO, M.T.; GALVÍNCIO, J.D. Influência da Variabilidade Climática Global e suas Escalas Temporais sobre a Precipitação no Alto Mundaú (PE). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.2, n.3, p.64-82, 2009. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewFile/81/55>>. Acesso em: 31 jan. 2015.

SILVA, R.A.B.; LIMA, J.R.S.; ANTONINO, GONDIM, P.S.S.; SOUZA, E. S.; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em

Neossolo Regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.38, n.1, p.147-157, 2014. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832014000100014&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832014000100014&script=sci_arttext)>. Acesso em: 31 mar. 2014.

SILVA, W.C.M.; RIBEIRO, A.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; LEITE, F.P. Water balance model and eucalyptus growth simulation in the rio doce basin, Brazil. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.35, n.4, p.403-412, 2013. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/16955>>. Acesso em: 31 mar. 2014.

SOARES, W.A.; ANTONINO, A.C.D.; LIMA, J.R.S.; SOUZA, E.S.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; LIRA, C.A.B.O. Simulação dos Fluxos de Água e de Energia na Microbacia Hidrográfica da Represa Vaca Brava no Brejo Paraibano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.18, n.4, p.185-196, 2013. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/b25492a0e05e32c8e546fce27e831bc4\\_3cd495b22342966d6758a-1c3b58fdbc4.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/b25492a0e05e32c8e546fce27e831bc4_3cd495b22342966d6758a-1c3b58fdbc4.pdf)>. Acesso em: 05 mar. 2014.

SOUZA, A.P.; LIMA, M.E.; CARVALHO, D.F. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.7, p.142-149, 2012. Disponível em: <[http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=agraria\\_v7i1a802](http://www.agraria.pro.br/sistema/index.php?journal=agraria&page=article&op=viewArticle&path%5B%5D=agraria_v7i1a802)>. Acesso em: 08 mar. 2014.

SOUZA, C.; ANDRADE, A.P.; LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOUZA, E.S.; SILVA, I.F. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.1, p.3-10, 2013. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662013000100001](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013000100001)>. Acesso em: 31 mar. 2014.

van GENUCHTEN, M.Th. Van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, n.5, p.892-898, 1980.

WARD, P.R.; FLOWER, K.C.; CORDINGLEY, N.; WEEKS, C.; MICIN S.F. Soil water balance with cover crops and conservation agriculture in a Mediterranean climate. *Field Crops Research*, v.132, p.33-39, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429011003704>>. Acesso em: 05 mar. 2014.