



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p449-455>

## Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano

Rodolfo M. S. Souza<sup>1</sup>, Eduardo S. de Souza<sup>1</sup>, Antonio C. D. Antonino<sup>2</sup> & José R. de S. Lima<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Unidade Acadêmica de Serra Talhada/Universidade Federal Rural de Pernambuco. Serra Talhada, PE. E-mail: [rodolfomssouza@gmail.com](mailto:rodolfomssouza@gmail.com) (Autor correspondente); [eduardosouza@uast.ufrpe.br](mailto:eduardosouza@uast.ufrpe.br)

<sup>2</sup> Departamento de Energia Nuclear/Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE. E-mail: [acda@ufpe.br](mailto:acda@ufpe.br)

<sup>3</sup> Unidade Acadêmica de Garanhuns/Universidade Federal Rural de Pernambuco. Garanhuns, PE. E-mail: [romualdo@uag.ufrpe.br](mailto:romualdo@uag.ufrpe.br)

### Palavras-chave:

escoamento superficial  
evapotranspiração  
drenagem  
armazenamento de água no solo

### RESUMO

Propôs, neste trabalho, avaliar a distribuição e a interação entre os componentes do balanço hídrico em uma área de pastagem cultivada em Serra Talhada, no semiárido pernambucano. Foram realizados monitoramentos da precipitação pluvial (P), da variação no armazenamento de água ( $\Delta A$ ) e do escoamento superficial (ES) para determinação do balanço hídrico. A evapotranspiração (ET) foi obtida a partir da covariância dos vórtices turbulentos. O fluxo total de água no solo (Q), ou seja, a drenagem (-Q) ou ascensão capilar (+Q) foi obtido a partir da equação do balanço hídrico. A taxa de ET da pastagem foi baixa; ainda assim, foi o principal componente de saída de água do sistema seguido pelo ES que, juntos, totalizaram aproximadamente 80% da precipitação pluvial. Esta pesquisa demonstrou que mesmo em anos de seca é necessário se quantificar o ES e as perdas e/ou ganhos de água no limite inferior do solo para se ter uma avaliação precisa da dinâmica da água no sistema solo-pastagem em condições de semiárido.

### Key words:

runoff  
evapotranspiration  
drainage  
soil water storage

## Water balance in pasture area in semi-arid region of Pernambuco

### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the distribution and the interaction between the components of the water balance in pasture area cultivated in Serra Talhada, in the semi-arid region of Pernambuco. Precipitation (P), the variation in water storage ( $\Delta WS$ ) and runoff (R) were monitored for determination of water balance. The evapotranspiration (ET) was obtained from the Eddy covariance method. The total flow of water in the soil (Q), i.e. the drainage (-Q) and raising damp (+Q) was obtained from the equation of water balance. The rate of evapotranspiration of pasture was low, yet this was the main system of water output component, followed by runoff, which together totaled approximately 80% of precipitation. This research demonstrated that, even in years of drought it is necessary to quantify the runoff and losses and/or water gains at lower limit of the soil to get accurate assessment of the dynamics of water in soil-pasture system in semi-arid conditions.

## INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas compreendem aproximadamente 17,7% do globo terrestre podendo ainda aumentar em função de alterações no ciclo hidrológico (Rotenberg & Yakir, 2010). No Brasil, a área classificada como região semiárida é de 982.563 km<sup>2</sup>, que corresponde a quase 11,5% do território (Brasil, 2005). Esta região é caracterizada por apresentar vegetação nativa do tipo Caatinga além de irregularidade climática com grande variabilidade espacial e temporal das variáveis meteorológicas apresentando os valores mais extremos do país: a maior insolação, a menor nebulosidade, as maiores médias térmicas, as maiores taxas de evaporação e, sobretudo, os menores índices pluviométricos, em torno de 500 a 700 mm anuais (Oliveira et al., 2006).

Em regiões semiáridas a disponibilidade de água no solo é o fator primário no controle do fluxo de água (sobretudo da evapotranspiração), na assimilação de carbono e na respiração do ecossistema (Hussain et al., 2011). As chuvas irregulares, pouco frequentes, os períodos de estiagem, o clima e as mudanças de uso da terra, adicionam mais complexidade na hidrologia das regiões semiáridas (Montenegro & Ragab, 2012). Assim, a compreensão das tendências sazonais e dos períodos de flutuação de fatores hidrológicos é essencial, sendo que esses fatores incluem a precipitação, o escoamento superficial e a evapotranspiração (Li et al., 2013).

A evapotranspiração (ET) depende bastante da disponibilidade de água e energia e também das características do local (Li et al., 2007; Mitchell et al., 2009), sendo uma das principais formas de transferência de água no sistema solo-planta-atmosfera e em pastagens áridas e semiáridas, podendo ser responsável por mais de 90% do consumo da precipitação (Flerchinger et al., 1996).

A dinâmica da água de um ecossistema pode ser estudada a partir do balanço hídrico, que consiste na contabilização dos componentes de entrada e saída de água num volume de solo que englobe todo o sistema radicular da cultura durante determinado intervalo de tempo. O balanço hídrico contempla todos os processos de retenção e condução de água no sistema solo-planta-atmosfera e é um dos principais métodos para determinação da evapotranspiração (Souza et al., 2013; Silva et al., 2014).

Entre os componentes do balanço hídrico o escoamento superficial, que é frequentemente desprezado em estudos de balanço hídrico, tem grande importância, sobretudo em regiões semiáridas nas quais normalmente ocorrem longos períodos de seca seguidos de curtos períodos chuvosos que apresentam, na maioria das vezes, eventos de precipitação com alta intensidade.

Este componente depende de vários fatores, como a declividade do terreno, tipo de cobertura do solo, capacidade de infiltração de água no solo e da intensidade da chuva. Em pastagens em que o solo tende a apresentar altos valores de densidade do solo devido ao pastejo dos animais, o escoamento superficial pode atingir 54,5% da precipitação pluvial (Costa et al., 2013).

Tendo em vista as áreas de pastagens englobarem aproximadamente 32% da vegetação natural do globo terrestre (Parton et al., 1995), 17,8% no Brasil (mais de 151 milhões

de ha) e 26% no estado de Pernambuco (2,5 milhões de ha) (IBGE, 2006), além da importância de se estudar o balanço hídrico deste ecossistema sobretudo em regiões semiáridas, o principal objetivo deste trabalho foi avaliar a distribuição anual e interanual, tal como a interação entre os componentes do balanço hídrico em uma área de pastagem no semiárido pernambucano.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Lagoinha, do Município de Serra Talhada PE (07° 56' 50,4" S e 38° 23' 29,0" W), na microrregião do Vale do Pajeú. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo BShw' semiárido, quente e seco, com as chuvas ocorrendo entre os meses de dezembro a maio e, de acordo com o Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG-DCA, 2013) os maiores valores ocorrem em março e a média anual de aproximadamente 642 mm. O solo é classificado como Luvissoilo Crômico.

A vegetação nativa da área de estudo foi removida em 1974 com trator de esteira para o cultivo do algodão em sistema de sequeiro, milho e feijão na forma de consórcio. A pastagem foi introduzida na área em 1995, com duas espécies de gramíneas C4, sendo o capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) e o capim corrente (*Urochloa mosambicensis*). O capim corrente, disseminado em maior quantidade, foi semeado inicialmente com 400 kg de sementes em toda a área (~18 ha).

A caracterização física do solo foi realizada no volume de controle (0-0,30 m) quando foram determinadas as frações texturais, a densidade do solo (Ds) e a resistência do solo à penetração (RP). RP foi determinada utilizando-se um penetrômetro de impactos modelo IAA/Planalsucar/Stolf (Stolf, 1991).

O balanço hídrico foi determinado considerando-se o volume de controle de 0,30 m no qual foram quantificados os principais componentes de entrada e saída de água do sistema ao longo do tempo, de acordo com Libardi (2005):

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

sendo:

- $\Delta A$  - variação do armazenamento de água no perfil do solo
- P - precipitação pluvial
- Q - fluxo total de drenagem (-Q) ou ascensão capilar (+Q)
- ES - escoamento superficial
- ET - evapotranspiração; todos esses componentes são expressos em mm

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 e final de cada período considerado, expressa pela seguinte equação:

$$\Delta A = (\theta_f - \theta_i)z = (Arm_f - Arm_i) \quad (2)$$

sendo:

- z - profundidade

$Arm_f$  e  $Arm_i$  - armazenamentos acumulados de água final e inicial, respectivamente.

A umidade volumétrica  $\theta$  ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) foi monitorada utilizando-se sondas TDR (Time Domain Reflectometer), instaladas nas profundidades de 0,10, 0,20 e 0,30 m. Para uma boa relação entre a leitura do TDR e a umidade do solo, amostras de solo foram coletadas e submetidas a diferentes valores de umidade no laboratório; em seguida, associaram-se os valores de umidade volumétrica (método padrão) às leituras da constante dielétrica obtidas com o TDR para gerar, assim, a curva de calibração. Com as umidades corrigidas o armazenamento acumulado de água no solo ( $Arm$ ) foi calculado pela regra do trapézio.

A precipitação pluvial foi quantificada com uso de um pluviômetro eletrônico (TR52SUW, Texas Eletronics).

O escoamento superficial foi quantificado utilizando-se calhas de  $1,08 \text{ m}^2$  (0,95 m lados retos e 1,05 m lado curvo) para coletar a água escoada durante os eventos de chuvas. As calhas foram confeccionadas a partir de chapas metálicas para conduzir a água escoada para reservatórios instalados na parte mais baixa do declive os quais se mantinham devidamente fechados para evitar a evaporação da água coletada (Figura 1).



Foto: 31/05/2013

Figura 1. Calha de monitoramento do escoamento superficial. Reservatório com água coletada do escoamento superficial após evento de chuva

A evapotranspiração foi calculada a partir do fluxo de calor latente (LE) obtido pelo método da covariância dos vórtices turbulentos (Eddy Covariance - EC). Uma torre com a instrumentação meteorológicas foi instalada no centro da pastagem, dispondo de um anemômetro sônico tridimensional (CSAT3, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA) e um analisador infravermelho de gás de caminho aberto (EC150, Campbell Scientific, Logan, Utah, EUA). A conversão do LE em ET foi realizada a partir da Eq. 3:

$$ET = \frac{\overline{LE} \cdot t}{10^6 \lambda} \quad (3)$$

sendo:

$\overline{LE}$  - a média do fluxo de calor latente,  $\text{W m}^{-2}$

$t$  - intervalo de tempo, s  
 $\lambda$  - o calor latente de vaporização, considerado constante ( $2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ )  
 $10^6$  - fator utilizado para converter  $\text{W m}^{-2}$  para  $\text{MJ m}^{-2}$

Deste modo e se conhecendo todos os componentes do balanço hídrico, o fluxo total de água ( $Q$ ), ou seja, a saída por drenagem ( $-Q$ ) ou entrada por ascensão capilar ( $+Q$ ) de água na zona radicular através do limite inferior do volume de solo estudado ( $z = 0,30 \text{ m}$ ), foi obtido como termo residual da Eq. 1. Os componentes de entrada e saída de água no sistema foram integrados para escala mensal.

A evolução do crescimento da pastagem foi quantificada por meio da massa seca da forragem (MF) onde foram realizadas medidas diretas adotando-se o método do quadrado (Salman et al., 2006). Este método consiste no lançamento de um quadrado ( $0,25 \text{ m}^2$ ) seguido do corte e pesagem da forragem contida nesta área. Foram realizadas cinco amostragens com 10 lançamentos por amostragem com base nos padrões de ocorrência da pastagem no momento da coleta.

Devido à irregularidade na distribuição de chuvas em 2012 e 2013 na região, as mudanças na fenologia e na atividade da vegetação foram avaliadas através do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) que tem sido amplamente empregado para caracterizar mudanças temporais e espaciais no verde de superfícies vegetadas e em muitos casos, quando a vegetação não é tão densa, para correlacionar tais variações com a troca de carbono do ecossistema com atmosfera (Wang et al., 2010; Qun & Huizhi, 2013).

O NDVI disponibilizado no produto MOD13Q1 foi obtido a partir de imagens do sensor orbital MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), com resolução espacial de 250 m e composição de 16 dias, disponíveis no banco de dados da EMBRAPA (<http://www.modis.cnpq.br>). Durante o presente estudo foram obtidas 44 composições do NDVI e utilizado um pixel como janela de amostragem.

Análises de regressão foram realizadas para avaliar a relação entre as variáveis. A significância das regressões foi avaliada pelo teste F, ao nível de 0,05 de probabilidade e quando mais de um modelo de regressão foi significativo o critério de escolha foi o menor RMSE. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o uso do software R 3.0.2 (R Development Core Team, 2013).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As distribuições das precipitações pluviais mensais durante os anos de 2012 e 2013, tal como a normal da região (média mensal do período de 1919 a 1990) são apresentadas na Figura 2 sendo possível observar que a distribuição da precipitação pluvial durante os dois anos, foi diferente da normal, com o ano de 2012 apresentando valores mensais sempre abaixo. Em 2013 ocorreu deslocamento do período chuvoso para os meses de abril e maio e os valores acumulados nos meses de maio, julho e dezembro foram maiores que os valores da normal (1919-1990).

A precipitação pluvial ocorrida durante o experimento correspondeu a 21,8% (2012) e 82,2% (2013) da normal da

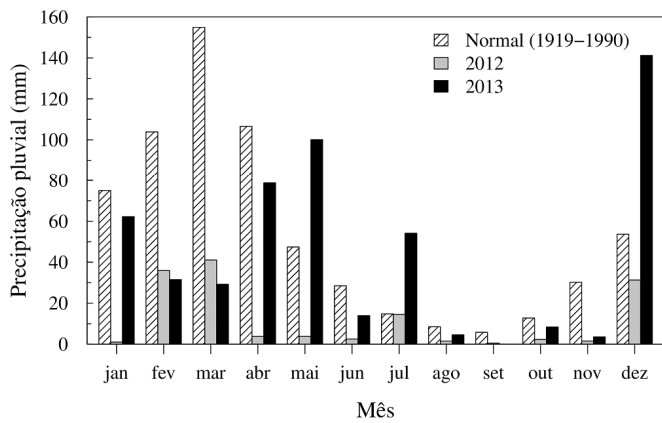


Figura 2. Distribuição anual da precipitação pluvial normal (1919-1990) e dos anos de 2012 e 2013 em Serra Talhada, PE

região classificados, respectivamente, como anos de seca e regular. Embora em 2013 tenha ocorrido maior quantidade de precipitação pluvial, 141,22 mm foram registrados na terceira semana do mês de dezembro.

As propriedades físicas do solo da área de estudo são apresentadas na Tabela 1. A classe textural do solo é Franco-Arenosa nas camadas de 0-0,10 m e de 0,10-0,20 m e Franco-Argilo-Arenosa nas camadas de 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m. A DS (densidade do solo) apresentou pouca variação ao longo do perfil avaliado e com magnitude dos valores normais para o teor de areia encontrado no solo. De maneira geral, a RP (resistência à penetração) aumentou significativamente com a profundidade, onde na camada de 0,30-0,40 m a RP é aproximadamente 10 vezes maior que na superfície do solo.

Alguns autores encontraram, ao determinar a RP em áreas de pastagem, valores inferiores aos reportados neste estudo. Carneiro et al. (2009) verificaram valores de RP de 1,96 MPa na

Tabela 1. Propriedades físicas do solo da área de pastagem

Camadas (m)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	RP (MPa)
0-0,10	65,04	18,00	16,96	1,51 ab	2,20 c
0,10-0,20	63,32	18,00	18,68	1,53 ab	7,67 bc
0,20-0,30	60,68	14,00	25,32	1,42 b	15,06 ab
0,30-0,40	64,06	4,00	31,94	1,61 a	20,24 a

Médias seguidas por letras iguais nas colunas não diferem entre si de acordo com o teste de Tukey a 0,05 de probabilidade

camada superficial (0-0,10 m) de um Neossolo Quartzarênico, enquanto Ralisch et al. (2008) observaram que os valores de RP diminuiram (de ≈ 4 MPa, para ≈ 3 MPa) da superfície (0-0,05 m) para as camadas subjacentes (entre 0,10 e 0,30 m) de um Latossolo Vermelho Amarelo.

Os valores elevados de RP no solo estudado podem ter ligação direta com o histórico de uso e manejo da área. Inicialmente, pelo uso inadequado de implementos agrícolas, como arados e grades que colaboraram para o aumento da compactação do solo nos primeiros 0,30 m de profundidade, o chamado “pé-de-arado”; a segunda está relacionada ao pisoteio dos animais, conforme Lanzasova et al. (2007), que encontraram relação positiva entre RP e o pisoteio dos animais.

Os valores do NDVI próximos a 1 indicam maior presença de plantas e, em consequência, maior cobertura da superfície do solo. Na Figura 3 é apresentada a variação anual e interanual do NDVI na área de pastagem podendo-se observar que a mesma apresentou baixos valores de NDVI, sobretudo em 2012 em que o total de precipitação pluvial foi de apenas 21,80% da normal da região (Figura 2). Apesar das condições climáticas ocorridas na região nos anos de 2012 e 2013 não serem favoráveis e do estado de degradação da pastagem o NDVI apresentou aumento significativo ( $p < 0,05$ ) com a massa seca de forragem (MS) conforme apresentado na Figura 3.

Entre as variáveis avaliadas neste estudo, além da precipitação pluvial (P), a cobertura vegetal tem grande potencial de influenciar no escoamento superficial. Com o objetivo de analisar o efeito da cobertura vegetal (representada pelo NDVI) e de P na dinâmica do escoamento superficial, foi realizada uma análise de regressão múltipla entre ES, P e NDVI, cujos resultados são apresentados na Tabela 2.

A P teve correlação positiva e significativa ( $p < 0,01$ ) no ES. Normalmente se percebe uma redução no ES com o aumento

Tabela 2. Resumo dos parâmetros da análise de regressão múltipla do escoamento superficial em função da precipitação pluvial (P) e do índice da vegetação por diferença normalizada (NDVI)

	Estimado	Erro padrão	Valor t	Pr(>  t )
Interceptado	4,368	4,623	0,945	0,372 n.s.
P	0,303	0,028	10,838	5,0*10 <sup>-6**</sup>
NDVI	-21,736	13,435	-1,618	0,144 n.s.

n.s.-Não significativo, \*\*Significativo a 0,01

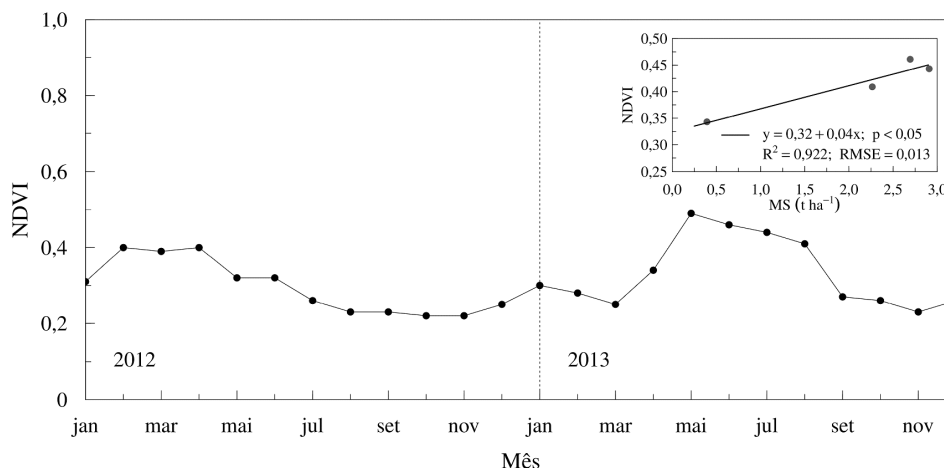


Figura 3. Variação anual e interanual do NDVI na área de pastagem e correlação entre a massa seca da forragem (MS) e o NDVI

da cobertura do solo para precipitações de mesma intensidade. Apesar de o NDVI detectar mudanças na atividade da vegetação, seus valores foram bem inferiores a 1 (< 0,5), indicando baixos índices de cobertura vegetal no solo, motivo pelo qual não foi possível encontrar uma interação significativa entre o NDVI e o ES. Referido comportamento está relacionado com as condições climáticas que ocorreram na região nos anos de 2012 e 2013, sendo registrada uma das maiores secas, o que refletiu no crescimento e no desenvolvimento da pastagem (Figura 3).

Com base nos resultados da regressão múltipla (Tabela 2) foi realizada a análise de regressão entre P e ES (Figura 4). O escoamento superficial apresentou correlação positiva e significativa ( $p < 0,01$ ) com a precipitação pluvial, semelhante aos resultados encontrados por Costa et al. (2013).

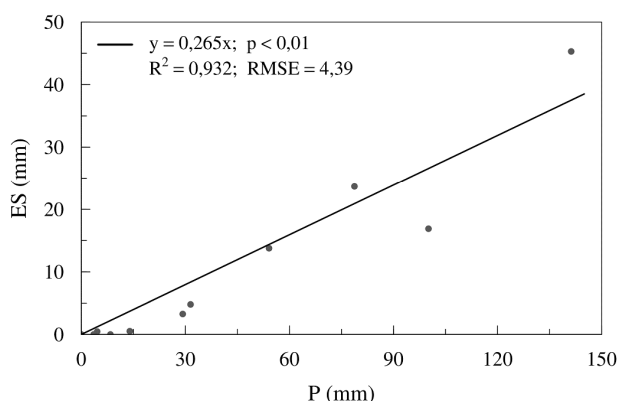


Figura 4. Correlação entre a precipitação pluvial (P) e o escoamento superficial (ES), na escala mensal, em área de pastagem

Como o ES começou a ser medido somente em fevereiro de 2013 (instalação das calhas), seus valores para o ano de 2012 foram estimados por meio da equação apresentada na Figura 4, a partir dos dados de precipitação pluvial.

A influência do armazenamento de água no solo (Arm), computado para a camada de solo de 0-0,30 m, na evapotranspiração (ET) é mostrada na Figura 5, durante todo o período de monitoramento. De acordo com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) o Arm explicou 63% das variações na ET.

Analisando o efeito do Arm na ET através da constante de Priestley-Taylor ( $\alpha$ , relação entre ET e evapotranspiração de equilíbrio), Wang et al. (2012) e Krishnan et al. (2012) reportaram valores de  $R^2$  semelhantes aos encontrados nesta pesquisa para o efeito de Arm em ET. Ainda se observa, na Figura 5, que quando houve disponibilidade de água a ET alcançou valores máximos próximos a 3,00  $\text{mm d}^{-1}$ , sendo esses valores semelhantes aos reportados por Qiu et al. (2011), que obtiveram valores médios de ET em pastagem de 2,50  $\text{mm d}^{-1}$  e Krishnan et al. (2012) na região do Arizona, que obtiveram valores ET em pastagem que variaram de 2,80 a 3,60  $\text{mm d}^{-1}$ .

A distribuição da precipitação pluvial no sistema hidrológico de uma pastagem determina a disponibilidade de água para as plantas e, conseqüentemente, sua produtividade. A análise da partição da água na área de pastagem foi realizada a partir do balanço hídrico para quantificar os principais componentes de entrada e saída de água do sistema. Os resultados da análise do balanço hídrico no intervalo de tempo mensal são apresentados na Tabela 3.

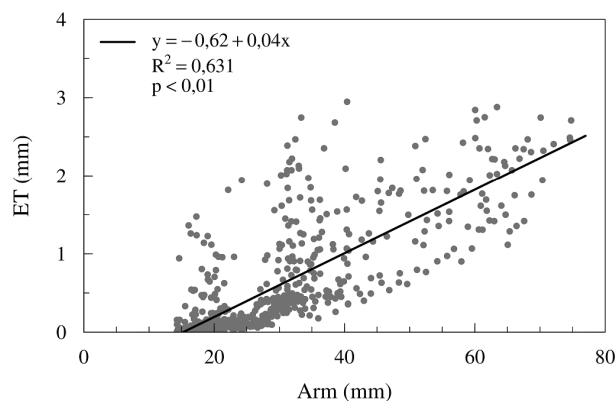


Figura 5. Correlação entre os valores diários do armazenamento de água no solo (Arm) e a evapotranspiração (ET)

Observa-se, em 2012, que a variação do armazenamento de água no solo ( $\Delta A$ ), foi negativa (-9,30 mm) em função da baixa precipitação ocorrida na região (138,96 mm), enquanto que em 2013, quando da ocorrência de quase quatro vezes mais precipitação pluvial (527,58), a  $\Delta A$  apresentou saldo positivo (49,71 mm). De maneira geral,  $\Delta A$  como esperado, acompanhou as variações da precipitação pluvial sendo seu valor total em todo o período analisado, de 40,41 mm. A  $\Delta A$  apresentou uma oscilação de -25,07 a +44,23 mm evidenciando que em determinados períodos ocorreu perda de água, isto é, as perdas por drenagem (-Q), o seu consumo pela forragem mais a evaporação da água diretamente da superfície do solo (ET) e o escoamento superficial (ES) foi superior à quantidade

Tabela 3. Componentes do balanço hídrico em área de pastagem no período de 2012 a 2013

Mês	$\Delta A$	P	ES	ET	Q
2012					
fev	35,14	36,03	9,60	41,13	49,73
mar	-25,07	41,06	10,92	47,90	-7,30
abr	-14,74	3,81	0,71	17,37	-0,48
mai	3,17	3,81	0,71	6,62	6,69
jun	-6,45	2,52	0,42	4,90	-3,64
jul	-0,63	14,57	3,31	4,65	-7,24
ago	-0,96	1,52	0,00	5,58	3,10
set	-2,69	0,51	0,00	2,89	-0,31
out	-0,13	2,29	0,64	2,45	0,66
nov	-1,81	1,53	0,00	1,72	-1,62
dez	4,87	31,31	8,56	8,42	-9,46
Total anual	-9,30	138,96	34,86	143,63	30,24
2013					
jan	33,92	62,23	14,86	24,84	11,39
fev	-17,80	31,49	4,80	16,52	-27,97
mar	-0,66	29,23	3,27	17,50	-9,12
abr	32,17	78,74	23,67	34,52	11,62
mai	-14,28	100,08	16,89	38,60	-58,87
jun	-15,92	13,97	0,52	21,50	-7,88
jul	2,13	54,11	13,77	24,98	-13,23
ago	-8,77	4,57	0,46	12,65	-0,23
set	-4,44	0,00	0,00	1,15	-3,29
out	2,02	8,38	0,00	4,70	-1,66
nov	-2,89	3,56	0,00	4,36	-2,08
dez	44,23	141,22	45,29	27,71	23,99
Total anual	49,71	527,58	123,53	229,03	-125,30
Total do período	40,41	666,53	158,39	372,67	-95,07

$\Delta A$  - Variação no armazenamento de água no solo; P - Precipitação pluvial; ES - Escoamento superficial; ET - Evapotranspiração; Q o fluxo total de água no solo, em que valores negativos (-Q) representam o fluxo de drenagem e valores positivos (+Q) o fluxo de ascensão capilar. Todos os componentes são expressos em mm

fornecida pela precipitação (P) e ascensão capilar (+Q), e em outros períodos ocorreu ganho de água.

Observou-se que ES seguiu diretamente as variações ocorridas na precipitação pluvial sendo seu valor total nos dois anos, de 158,39 mm, o que corresponde a 23,8% de toda a água que chega ao sistema via precipitação pluvial. Analisando os valores anuais do ES em 2012 (34,86 mm) e 2013 (123,53 mm) percebe-se que, apesar do maior valor total em 2013, a proporção entre ES e P, praticamente foi a mesma (25,1% em 2012 e 23,4% em 2013).

Costa et al. (2013) encontraram correlação linear entre P e ES para diferentes tipos de uso do solo com R de 0,815. O valor da fração ES/P encontrada neste estudo foi maior que o reportado por Barbosa & Fearnside (2000) para uma pastagem sem limitação hídrica (ES/P = 15,1%) e inferior àquele reportado por Costa et al. (2013), para uma pastagem degradada (ES/P = 54,5%). Em região semiárida com vegetação arbustiva Archer et al. (2002) encontraram ES/P de 10,1%, sugerindo que o manejo da pastagem também tem papel relevante no particionamento da água oriunda da precipitação pluvial.

Em relação à ET, observa-se que nos meses nos quais ocorreu precipitação pluvial (P) a ET atingiu valores acima de 30 mm chegando ao máximo de 47,90 mm (média de 1,55 mm d<sup>-1</sup>); entretanto, para os meses com baixos valores de P, a ET alcançou valores muito baixos. Silva et al. (2014) encontraram, em área de pastagem (*Brachiaria decumbens* Stapf) também no semiárido pernambucano, valores de ET mínimo de 1,74 mm durante subperíodos de 15 dias, em que não ocorreu P.

Em relação ao fluxo total de água (Q) no limite inferior do volume de solo (z = 0,30 m), observou-se que na maior parte dos meses de 2013 as perdas por drenagem (-Q) foram maiores que os ganhos por ascensão capilar (+Q), enquanto se observou, no ano de 2012, o contrário. Este comportamento diferenciado nos anos de 2012 e 2013 está ligado à própria variação da precipitação pluvial, sendo 2013 um ano bem mais chuvoso que 2012.

O valor total de drenagem no período experimental (2012 e 2013) foi de 178,37 mm o que representa 26,8% de toda a água fornecida via precipitação pluvial; já os ganhos com ascensão capilar foram de 83,30 mm correspondendo a 12,5% do total de água precipitada. A relação entre drenagem e precipitação pluvial foi semelhante à encontrada por Silva et al. (2014), em área de pastagem, no município de São João, PE.

## CONCLUSÕES

1. A evapotranspiração da pastagem foi baixa; mesmo assim, foi o principal componente de saída de água do sistema (56% da precipitação pluvial), seguido pelo escoamento superficial (24% da precipitação pluvial).

2. O fluxo de água no limite inferior (z = 0,30 m) do solo no ano mais seco (2012) ocorreu principalmente no sentido ascendente, sendo o inverso no ano mais chuvoso (2013).

3. Esta pesquisa demonstrou que, mesmo em anos de seca, é necessário se quantificar o escoamento superficial e as perdas e/ou ganhos de água no limite inferior do solo para se ter uma avaliação precisa da dinâmica da água no sistema solo-pastagem em condições de semiárido.

## AGRADECIMENTOS

Ao Banco do Nordeste do Brasil - BNB, pelo apoio financeiro através do Programa de apoio à elaboração de teses e dissertações sobre atividades socioeconômicas e desenvolvimento sustentável, Aviso ETENE/FUNDECI - 01/2012. Ao CNPq, por meio de auxílio financeiro (projeto n° 479289/2011-5) e bolsas (projetos n° 307641/2013-9 e 305727/2009-5) e à FACEPE (processos APQ-0077-5.01/09; APQ-1178-3.01/10) e à FINEP (processo 551922/2011-7) pelos recursos financeiros.

## LITERATURA CITADA

- Archer, N.; Tim, H.; Quinton, J. The water balance of two semi-arid shrubs on abandoned land in South-Eastern Spain after cold season rainfall. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.6, p.913-926, 2002. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-6-913-2002>
- Barbosa, R. I.; Fearnside, P. M. Erosão do solo na Amazônia: Estudo de caso na região do Apiaú, Roraima, Brasil. *Acta Amazônica*, v.30, p.601-613, 2000.
- Brasil. Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do semi-árido brasileiro. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2005. <<http://www.mi.gov.br/>>. 10 Jan. 2012.
- Carneiro, M. A. C.; Souza, E. D.; Reis, E. F.; Pereira, H. S.; Azevedo, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.147-157, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>
- Costa, C. F. G.; Figueiredo, R. O.; Oliveira, F. A.; Santos, I. P. O. Escoamento superficial em Latossolo Amarelo distrófico típico sob diferentes agroecossistemas no nordeste paraense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.162-169, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000200007>
- Flerchinger, G. N.; Hanson, C. L.; Wight, J. R. Modeling evapotranspiration and surface energy budgets across a watershed. *Water Resources Research*, v.32, p.2539-2548, 1996. <http://dx.doi.org/10.1029/96WR01240>
- Hussain, M. Z.; Grünwald, T.; Tenhunen, J. D.; Li, Y. L.; Mirzae, H.; Bernhofer, C.; Otieno, D.; Dinh, N. Q.; Schmidt, M.; Wartinger, M.; Owen, K. Summer drought influence on CO<sub>2</sub> and water fluxes of extensively managed grassland in Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.141, p.67-76, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2011.02.013>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo agropecuário 2006. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 146p.
- Krishnan, P.; Meyers, T. P.; Scott, R. L.; Kennedy, L.; Heuer, M. Energy exchange and evapotranspiration over two temperate semi-arid grassland in North America. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.153, p.31-44, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.09.017>
- Lanzanova, M. E.; Nicoloso, R. S.; Lovato, T.; Eltz, F. L. F.; Amado, T. J. C.; Reinert, D. J. Atributos físicos do solo sistemas de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1131-1140, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500028>
- Li, Q.; Yu, X.; Xin, Z.; Sun, Y. Modeling the effects of climate change and human activities on the hydrological processes in a semiarid watershed of loess plateau. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.18, p.401-412, 2013. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000629](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000629)

- Li, S.-G.; Asanuma, J.; Kotani, A.; Davaa, G.; Oyunbaatar, D. Evapotranspiration from a Mongolian steppe under grazing and its environmental constraints. *Journal of Hydrology*, v.333, p.133-143, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.07.021>
- Libardi, P. L. Dinâmica da água no solo. São Paulo: EDUSP, 2005. 335p.
- Mitchell, P. J.; Veneklaas, E.; Lambers, H.; Burgess, S. S. O. Partitioning of evapotranspiration in a semi-arid eucalypt woodland in south-western Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.149, p.25-37, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.07.008>
- Montenegro, S.; Ragab, R. Impact of possible climate and land use changes in the semi arid regions: A case study from North Eastern Brazil. *Journal of Hydrology*, v.434-435, p.55-68, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.036>
- Oliveira, M. B. L.; Santos, A. J. B.; Manzi, A. O.; Alvalá, R. C. S.; Correia, M. F.; Moura, M. S. B. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de caatinga e atmosfera no nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, p.378-386, 2006.
- Parton, W. J.; Scurlock, J. M. O.; Ojima, D. S.; Schimel, D. S.; Hall, D. O.; Scopegram Group Members. Impact of climate change on grassland production and soil carbon worldwide. *Global Change Biology*, v.1, p.13-22, 1995. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.1995.tb00002.x>
- Qiu, G. Y.; Xie, F.; Feng, Y. C.; Tian, F. Experimental studies on the effects of the "Conversion of Cropland to Grassland Program" on the water budget and evapotranspiration in a semi-arid steppe in Inner Mongolia, China. *Journal of Hydrology*, v.411, p.120-129, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.09.040>
- Qun, D.; Huizhi, L. Seven years of carbon dioxide exchange over a degraded grassland and a cropland with maize ecosystems in a semiarid area of China. *Agriculture, Ecosystems and Environments*, v.173, p.1-12, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.04.009>
- R Development Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013.
- Ralisch, R.; Miranda, T. M.; Okumura, R. S.; Barbosa, G. M. C.; Guimarães M. F.; Scopel, E.; Balbino, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistema de manejo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, p.381-384, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662008000400008>
- Rotenberg, E.; Yakir, D. Contribution of Semi-Arid forests to the climate system. *Science*, v.327, p.451-454, 2010. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1179998>
- Salman, A. K. D.; Soares, J. P. G.; Canesin, R. C. Métodos de amostragem para avaliação quantitativa de pastagens. Rondônia: Embrapa Rondônia, 2006. 6p. Circular Técnica, 84
- Silva, R. A. B.; Lima, J. R. S.; Antonino, A. C. D.; 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, p.147-157, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100014>
- 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, p.3-10, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100001>
- Stolf, R. Teoria experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.15, p.229-235, 1991.
- UFCEG-DCA - Universidade Federal de Campina Grande - Departamento de Ciências Atmosféricas. <<http://www.dca.ufcg.edu.br>>. 15 Dez. 2013.
- Wang, L.; Liu, H.; Ketzer, B.; Horn, R.; Bernhofer, C. Effect of grazing intensity on evapotranspiration in the semiarid grasslands of Inner Mongolia, China. *Journal of Arid Environments*, v.83, p.15-24, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2012.04.005>
- Wang, Z.; Xiao, X.; Yan, X. Modeling gross primary production of maize cropland and degraded grassland in northeastern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.150, p.1160-1167, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.04.015>