

## ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DA MAMONA E SEUS COMPONENTES (EVAPORAÇÃO E TRANSPIRAÇÃO) NA MICRORREGIÃO DO BREJO PARAIBANO

**Gilberto da Cruz Gouveia Neto<sup>1</sup>, José Romualdo de Sousa Lima<sup>3</sup>, Antonio Celso Dantas Antonino<sup>4</sup>, José Madson da Silva<sup>2</sup>, Cícero de Souza<sup>5</sup> e Ivandro de França da Silva<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Professor do Instituto Federal de Alagoas, Campus Santana do Ipanema, Santana do Ipanema - AL, CEP 57.500-000, e-mail: gilberto.neto@ifal.edu.br

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, PB, [neto\\_gouveia@hotmail.com](mailto:neto_gouveia@hotmail.com), [josemadsom@hotmail.com](mailto:josemadsom@hotmail.com);

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

<sup>4</sup> Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, PE, [acda@ufpe.br](mailto:acda@ufpe.br);

<sup>5</sup> Departamento do Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal da Paraíba, Campus de Areia, PB, [cicerosolos@hotmail.com](mailto:cicerosolos@hotmail.com), [ivandro@cca.ufpb.br](mailto:ivandro@cca.ufpb.br)

### 1 RESUMO

A quantificação da evapotranspiração e seus componentes (transpiração e evaporação) é requerida para melhor compreender os processos que controlam as trocas de água e de CO<sub>2</sub> com a atmosfera, bem como a produtividade das culturas. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo quantificar os componentes do balanço de energia e a evapotranspiração (ET), por meio do método da razão de Bowen, como também quantificar as perdas de água por evaporação do solo (E), além de estimar a transpiração da mamona (T), obtida pela diferença entre a evapotranspiração e evaporação. Para tal, instalou-se um experimento numa área de 4 ha, localizada no CCA/UFPB, Areia-PB (6°58'S, 35°41'W and 620m). Para a determinação dos componentes do balanço de energia e da evapotranspiração, foi instalada no centro da área uma torre micrometeorológica automatizada, contendo sensores para a medida da radiação solar global, do saldo de radiação e da precipitação pluvial, além de dois níveis de medida da temperatura e umidade relativa do ar. Para a medida da evaporação da água no solo foram instalados seis microlisímetros entre as linhas da cultura. A evapotranspiração da cultura seguiu as variações da precipitação pluvial com um total de 567,15 mm e um valor médio de 3,40 mm dia<sup>-1</sup>. Na fase vegetativa a evaporação e a transpiração corresponderam a 25,5% e 74,5%, respectivamente, do total de água consumido pela mamona. Na fase de floração esses valores foram de 23,7% e 76,3% e na fase de enchimento das bagas foram de 13,7% e 83,6%. Em relação aos componentes do balanço de energia, verificou-se que o saldo de radiação foi utilizado em média como 68%, 27% e 5% nos fluxos de calor latente, sensível e no solo, respectivamente.

**Palavras-chave:** *Ricinus communis* L., microlisímetros, balanço de energia.

**GOUVEIA NETO, G.C. da; LIMA, J.R. de S; ANTONINO, A.C.D., SILVA, J.M.;  
SOUZA, C.; SILVA, I.F.**

**EVAPOTRANSPIRATION ESTIMATE OF CASTOR BEAN AND ITS  
COMPONENTS (EVAPORATION AND TRANSPIRATION) ON PARAIBA STATE  
BREJO MICRO REGION, BRAZIL**

## 2 ABSTRACT

The quantification of evapotranspiration and its components (transpiration and evaporation) is required to better understand the processes that control the exchanges of water and CO<sub>2</sub> with atmosphere as well as the productivity of crops. This work has the objective to quantify of the energy balance components (net radiation, latent heat flux, sensible heat flux and soil heat flux), and evapotranspiration (ET) of castor bean (*Ricinus communis* L.) utilizing the Bowen ratio energy balance method, as well as quantify water losses due to soil evaporation (E) and transpiration (T) of castor bean. A field experiment was installed in an area of 4 ha located at CCA/UFPB, in the municipality of Areia, PB, Brazil (6° 58'S, 35°41' e 620 m). Energy balance and ET were obtained by the installation of a micrometeorological tower. Measurements of rainfall, net and global radiation were made. Sensors at three levels above the canopy were also mounted, allowing the measurements of air temperature and relative humidity. All data were stored in a datalogger each 30 min. Soil evaporation (E) measures were achieved with the use of microlysimeters. T was obtained by the difference between ET and E. It was observed that ET followed rainfall variations, with a total of 567.15 mm and a mean value of 3.40 mm d<sup>-1</sup>. On vegetative stage the E and T were 25.5% and 74.5% of ET, respectively. On blooming stage these values were of 23.7% and 76.3%, and on filling berries phase those values corresponded to 13.7 and 83.6%. Net radiation was utilized, in average, as 68, 27 and 5% as latent, sensible and soil heat fluxes, respectively.

**KEYWORDS:** *Ricinus communis* L., microlysimeter, energy balance

## 3 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Governo Federal vem incentivando o cultivo de plantas oleaginosas, de acordo com o potencial de cada região, para a produção do biodiesel. No Nordeste, devido as suas condições edafoclimáticas, a cultura escolhida para a produção de biodiesel foi a mamona. Além da sua adaptabilidade a essas condições o cultivo da mamona apresenta elevada potencialidade para gerar empregos e fixar o homem no campo, diminuindo o êxodo rural (Oliveira et al., 2009).

Sabe-se que a produção de qualquer cultura é dependente de uma série de fatores. A mamona como cultura comercial não é diferente, exigindo para produtividades elevadas, condições climáticas e edáficas favoráveis, onde a presença de água e nutrientes é exigida em momentos e em quantidades apropriadas. A falta ou excesso desses fatores são limitantes à produção, determinando em muitos casos a sua diminuição. O conhecimento da quantidade de água retirada do solo pelos vegetais é de grande interesse, principalmente, para os estudos sobre o uso da água pela cultura, como também sobre a dinâmica da absorção dos nutrientes.

No entanto na literatura, poucos são os estudos que trazem informações sobre o consumo de água pela mamoneira. Essa falta de informações fica mais acentuada quando se quer saber o consumo de água em cada fase fenológica dessa cultura, principalmente em condições de sequeiro. Some-se a isso o fato de que hoje em dia os recursos hídricos estão sofrendo grande processo de poluição, com água de boa qualidade tornando-se escassa. Desse modo, a utilização da água de forma mais eficiente tem que ser uma preocupação constante, quer seja, no meio rural, quer seja no urbano.

Mesmo em cultivos de sequeiro, o conhecimento das necessidades hídricas de uma cultura permite o melhor aproveitamento das disponibilidades hídricas de uma região. Por

exemplo, períodos de maior exigência de água pela cultura, tais como florescimento, devem coincidir com os períodos de maior incidência de chuvas e/ou disponibilidade de água (Fronza, 2002).

Um dos principais métodos micrometeorológicos para determinação da evapotranspiração em culturas é o método da razão de Bowen (MRB). Este tem sido usado por muitos pesquisadores nas mais variadas culturas: feijão, soja, mamona, maracujá, manga, abacaxi, etc. (Lima et al. 2005; Fernandes, 2007; Oliveira, 2007; Silva TJA et al., 2007; Borges et al., 2008; Souza et al., 2008).

O balanço de energia das superfícies vegetadas permite dimensionar as trocas de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera, através do estudo da partição do saldo de radiação nos diversos processos que ocorrem na cultura. O método permite avaliar as alterações no microclima da vegetação em função dos estádios de desenvolvimento da cultura e em função das condições de solo e atmosfera (Fontana et al., 1991).

Embora estimativas precisas de evapotranspiração (ET) sejam úteis em vários estudos, a sua partição em transpiração da planta e evaporação da água no solo, é requerida para compreender melhor os processos que controlam as trocas de água e de CO<sub>2</sub>, bem como a produtividade dos ecossistemas. Desse modo, faz-se necessário a utilização de técnicas que possam quantificar a transpiração e a evaporação separadamente.

A quantificação das perdas de água por meio da evaporação do solo pode ser obtida pelo uso de microlisímetros. Os microlisímetros foram inicialmente concebidos por Boast & Robertson (1982), e desde então têm sido usados para determinar diretamente a evaporação da água no solo sem vegetação ou de solos cultivados com culturas que não o cobrem totalmente (a mamona, por exemplo).

Vários autores usaram o microlisímetro para medir a evaporação da água no solo. Jara et al. (1998) mediram a evaporação da água em um solo cultivado com milho e encontraram que as perdas por evaporação corresponderam a 20% da evapotranspiração total e que os microlisímetros se mostraram confiáveis na medição da evaporação. Plauborg (1995) trabalhando em condições de clima úmido, mais precisamente na Dinamarca, e de baixos valores de evaporação encontrou que os microlisímetros não são adequados na medição da evaporação da água no solo em períodos de precipitação elevada.

De acordo com Rodrigues et al. (1998), a transpiração é um processo mais complicado do que a evaporação, uma vez que envolve tanto a fisiologia da planta como a física do fluxo de água no solo. A transpiração, por sua vez, não se limita às camadas superficiais do solo, posto que envolve a região do solo abrangida pelo sistema radicular.

Quando a taxa de absorção de água do solo pelas raízes torna-se menor que a transpiração, a taxa de crescimento é afetada. Deste modo a redução da transpiração está diretamente relacionada ao decréscimo da produtividade (Fronza, 2002).

Diante do exposto o trabalho teve como objetivos: i. estimar a evapotranspiração da mamona pelo método do balanço de energia-razão de Bowen; ii. quantificar as perdas de água via evaporação da água no solo por meio de microlisímetros; iii. calcular as perdas de água pela cultura (transpiração) pela diferença entre evapotranspiração e evaporação; e iv. quantificar a variação temporal dos componentes do balanço de energia.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 4.1 Localização, clima e solo

As medidas para a realização do balanço de energia foram efetuadas numa 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, no Estado da Paraíba, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude Sul 6°58'12", longitude Oeste 35°42'15" e altitude de 620 m. 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, 2006). O solo apresenta classificação textural franco-argilo-arenosa, até a profundidade de 0,40 m, enquanto que de 0,40 até 0,80 m a classificação textural é argilo-arenosa (Lima et al., 2006).

#### 4.2 Plantio e tratos culturais

Nos dias 25 e 26 de abril de 2007, sementes de mamona da cultivar BRS 149 Nordestina foram plantadas manualmente no espaçamento 2,0 x 1,0 m com duas plantas por cova. A emergência das plântulas ocorreu entre 10 a 12 dias após o plantio. Durante a condução do experimento foram realizadas duas capinas manuais. Neste trabalho não foi necessário realizar a adubação da cultura e tampouco a correção da acidez do solo, de acordo com o resultado da análise de fertilidade do solo.

#### 4.3 Evaporação da água no solo

A evaporação da água no solo foi medida por meio de microlisímetros (Boast & Robertson, 1982). Os microlisímetros foram instalados em número de seis entre as linhas da cultura da mamona. Os microlisímetros tinham as seguintes dimensões: diâmetro de 0,07 m e altura de 0,155 m, área de 0,003848 m<sup>2</sup> e um volume de 0,0005965 m<sup>3</sup>. Diariamente, às 06:00 h, os microlisímetros eram limpos externamente e levados do campo para o local de pesagem dentro de uma caixa hermeticamente fechada, e pesados em balança eletrônica com resolução de 0,01 g. A quantidade de água evaporada no solo foi calculada pela seguinte expressão:

$$E \text{ (mm)} = \frac{\Delta P}{A} \times 10^{-3} \quad \text{(Equação 1)}$$

sendo: E, a quantidade de água evaporada em mm;  $\Delta P$ , a diferença de peso dos microlisímetros entre um dia e outro em g e A, a área do microlisímetro em m<sup>2</sup>.

#### 4.4 Balanço de energia

Para realização do balanço de energia foi instalada uma torre micrometeorológica no centro da área experimental contendo sensores de medidas da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento, em três níveis ( $z_1=0,35$  m;  $z_2=0,70$  m;  $z_3=1,05$  m) acima do dossel da cultura. Além desses sensores foram instalados: um piranômetro para a medida da radiação global, um saldo radiômetro para as medições do saldo de radiação e um pluviômetro, para a medida da precipitação pluviométrica; esses equipamentos foram instalados na mesma torre, na altura de 1,5 m da superfície do solo. Já para a medida do fluxo de calor no solo foram instalados dois fluxímetros horizontalmente, em dois locais, na

profundidade  $z = 0,05$  m, juntamente com um sensor de umidade do solo, na mesma profundidade, além de duas sondas térmicas instaladas horizontalmente, nas profundidades de  $z_1 = 0,02$  m e  $z_2 = 0,08$  m. Todas essas medidas foram armazenadas como médias a cada 30 min, com exceção da pluviometria, quando foi calculado seu valor total, em um sistema de aquisição de dados CR 10X da Campbell Scientific.

O balanço de energia na superfície do solo pode ser descrito por meio da seguinte equação (Perez et al., 1999):

$$Rn = G + H + LE \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:  $Rn$  é o saldo de radiação ( $W\ m^{-2}$ ),  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $W\ m^{-2}$ ),  $H$  o fluxo de calor sensível ( $W\ m^{-2}$ ) e  $LE$  o fluxo de calor latente ( $W\ m^{-2}$ ). A razão de Bowen ( $\beta$ ) é dada pela equação:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (\text{Equação 3})$$

em que  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $0,066\ kPa\ ^\circ C^{-1}$ );  $\Delta T$  é a diferença de temperatura do ar ( $^\circ C$ ) e  $\Delta e$  a diferença de pressão de vapor (kPa).

A pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ), em kPa, foi calculada pela equação de Murray (1967):

$$e_s = 0,6108 \exp \left[ \frac{17,27T}{237,3 + T} \right] \quad (\text{Equação 4})$$

Com os dados de umidade relativa do ar (UR%) e dos valores calculados de pressão de saturação de vapor ( $e_s$ ), foram calculados os valores de pressão de vapor ( $e$ , kPa) pela equação:

$$e = UR * e_s / 100 \quad (\text{Equação 5})$$

A partir das medições do saldo de radiação ( $Rn$ ), do fluxo de calor no solo ( $G$ ), das diferenças de temperatura do ar ( $\Delta T$ ) e de pressão de vapor ( $\Delta e$ ), da equação do balanço de energia (equação 2) e da razão de Bowen ( $\beta$ ) (equação 3), procedeu-se o cálculo dos fluxos de calor latente ( $LE$ ) (equação 6) e calor sensível ( $H$ ) (equação 7):

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad (\text{Equação 6})$$

$$H = \frac{\beta}{1 + \beta} (Rn - G) \quad (\text{Equação 7})$$

A taxa de evapotranspiração da cultura (mm) foi obtida dividindo-se o fluxo de calor latente pelo calor latente de vaporização, considerado como constante e igual a  $2,45\ MJ\ kg^{-1}$ .

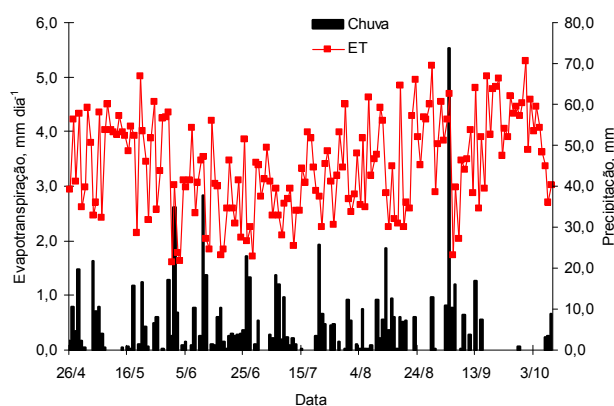
#### 4.5 Fases fenológicas da mamona

O ciclo da cultura foi dividido em seus estádios fenológicos. O estágio vegetativo foi de 26/04 a 25/07/2007, o de floração foi de 26/07 a 14/08/2007 e o de enchimento de bagas de 15/08 a 09/10/2007. Durante cada estágio foi escolhido um período para separação da evapotranspiração em seus componentes (evaporação e transpiração), em função dos dados dos microlisímetros, uma vez que os mesmos, em alguns dias, apresentaram problemas operacionais.

### 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.1 Evapotranspiração e precipitação pluvial

A quantidade total de água precipitada no período de estudo foi de 814,07 mm, sendo essas precipitações bem distribuídas regularmente no período de 26/04 a 13/09/2007, onde ocorreu um total de chuvas de 790,70 mm, ou seja, 97,13% da precipitação total, sendo que a maior precipitação pluvial (73,66 mm) ocorreu no dia 04/09/2007. Verifica-se, ainda, que a partir do dia 13/09/2007 ocorreu escassez de chuvas, o que é normal para a região nessa época. Observa-se, de um modo geral, que a evapotranspiração seguiu as variações da precipitação pluvial, com valores mais elevados ocorrendo após o umedecimento do solo. A evapotranspiração total da cultura foi de 567,15 mm, com um valor médio de 3,40 mm dia<sup>-1</sup> (Figura 1).



**Figura 1.** Precipitação pluvial e evapotranspiração da mamona durante o período de 26/04 a 09/10/2007, em Areia – PB.

Durante a fase vegetativa, que correspondeu ao período de 26/04 a 25/07/2007, a evapotranspiração total foi de 286,93 mm com um valor médio de 3,15 mm dia<sup>-1</sup>, variando de 1,60 a 5,02 mm dia<sup>-1</sup>; nessa fase ocorreu uma precipitação total de 493,01 mm. Já na fase de floração, 26/07 a 14/08/2007, os valores de evapotranspiração total e diária e a precipitação total foram de 66,83 mm, 3,34 mm dia<sup>-1</sup> e 93,21 mm, respectivamente. Os valores de evapotranspiração nessa fase variaram de 2,25 a 4,63 mm dia<sup>-1</sup>. Na fase de enchimento de bagas e maturação, 15/08 a 09/10/2007, a evapotranspiração total e diária foram de 213,40 mm e 3,81 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente, variando de 1,73 a 5,29 mm dia<sup>-1</sup>, e a precipitação total nesse período foi de 227,83 mm. O maior consumo médio (3,81 mm dia<sup>-1</sup>) de água na fase de enchimento de bagas e maturação ocorreu, provavelmente, devido ao fato da cultura se

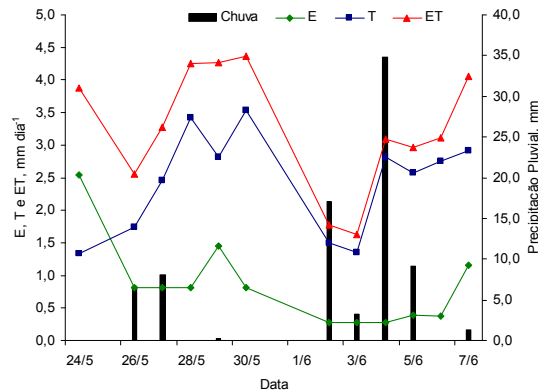
encontrar em um estádio que utiliza uma grande quantidade de água em seus processos fisiológicos.

Oliveira (2007) trabalhando com a mesma variedade, no mesmo tipo de solo e empregando a mesma metodologia, encontrou um valor médio de evapotranspiração de  $2,31 \text{ mm dia}^{-1}$  e um valor total de  $334,3 \text{ mm}$ , com valor total de precipitação pluvial igual a  $378,20 \text{ mm}$ . Esse valor diário de evapotranspiração, quando comparado ao período total do ciclo fenológico da mamona, foi menor do que o encontrado neste trabalho, devido a uma menor precipitação na área experimental. Barros Júnior et al. (2008) estudaram o consumo de água de duas cultivares de mamona, BRS 149 Nordestina e BRS 188 Paraguaçu, em função de diferentes níveis de disponibilidade de água no solo e verificaram que as variedades tiveram comportamento similar em relação ao consumo hídrico.

## 5.2 Partição dos componentes da evapotranspiração (evaporação e transpiração) da mamona durante as diferentes fases fenológicas.

### 5.2.1 Fase vegetativa

No período da fase vegetativa avaliado, que foi de 24/05 a 07/06/2007, ocorreu uma precipitação pluvial total de  $83,8 \text{ mm}$ , com uma evapotranspiração (ET) total de  $39,2 \text{ mm}$  e um valor médio de  $3,27 \text{ mm dia}^{-1}$ . Já na partição dos componentes da evapotranspiração, a evaporação (E) foi de  $10,0 \text{ mm}$ , com um valor médio de  $0,84 \text{ mm dia}^{-1}$ , ou seja,  $25,5\%$  do total evapotranspirado. Já a transpiração (T) foi de  $29,2 \text{ mm}$ , com um valor médio de  $2,43 \text{ mm dia}^{-1}$ , ou seja,  $74,5\%$  do total evapotranspirado (Figura 2).



**Figura 2.** Precipitação pluvial, evapotranspiração da mamona e seus componentes (evaporação e transpiração) durante o período de 24/05 a 07/06/2007, em Areia – PB.

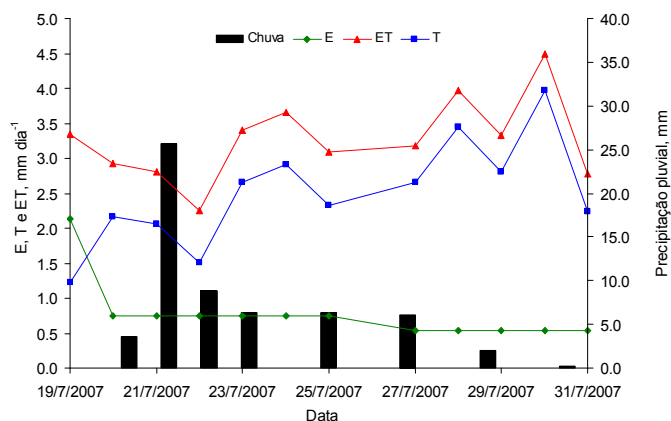
Essa elevada taxa de evapotranspiração da cultura para essa fase ocorreu devido ao fato de que o solo não se encontrava em restrição hídrica. Oliveira (2007) encontrou valores de evapotranspiração da cultura da mamona na fase vegetativa variando de  $0,71$  a  $3,62 \text{ mm dia}^{-1}$ , com valor médio de  $2,04 \text{ mm dia}^{-1}$ . Já Souza (2006), utilizando o método do balanço hídrico, encontrou um valor de  $4,80 \text{ mm dia}^{-1}$ . Lima et al. (2004) trabalhando nas mesmas condições dessa pesquisa, encontraram um valor médio de evapotranspiração de  $1,84 \text{ mm dia}^{-1}$  e um valor total de  $88,3 \text{ mm}$ . As diferenças encontradas entre essa pesquisa e o trabalho de

Lima et al. (2004), devem-se ao fato de que no trabalho desses autores, o período de avaliação foi dos 13 aos 60 dias após a emergência das plantas.

### 5.2.2 Fase de floração

No período avaliado, 19/07 a 31/07/2007, da fase de floração houve uma precipitação pluvial total de 59,2 mm, com uma evapotranspiração (ET) total de 41,5 mm e um valor médio de 3,2 mm dia<sup>-1</sup>. Já na partição dos componentes da evapotranspiração, a evaporação (E) foi de 9,3 mm, com um valor médio de 0,77 mm dia<sup>-1</sup>, ou seja, 23,7% do total evapotranspirado, enquanto que, os 32,2 mm restantes, foi de transpiração da planta (T), com um valor médio de 2,48 mm dia<sup>-1</sup>, ou seja, 76,3% do total evapotranspirado (Figura 3).

No trabalho de Oliveira (2007) a evapotranspiração média da mamona na fase de floração foi de 2,04 mm dia<sup>-1</sup>, sendo que seus valores variaram de 1,61 a 3,16 mm dia<sup>-1</sup>, enquanto no trabalho de Souza (2006) o valor médio de evapotranspiração foi de 2,80 mm dia<sup>-1</sup>.



**Figura 3.** Precipitação pluvial, evapotranspiração da mamona e seus componentes (evaporação e transpiração) durante o período de 19/07 a 31/07/2007, em Areia – PB.

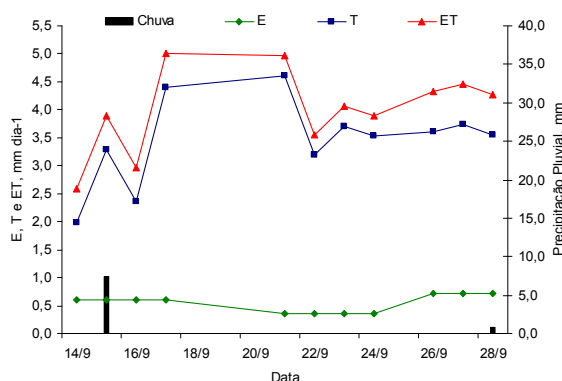
Na fase de floração, apesar da menor quantidade de chuvas ocorrida na área experimental, vê-se que a ET foi praticamente igual a da fase vegetativa. Esse fato deve ter ocorrido, provavelmente, em função da água que estava armazenada no solo.

Silva JM et al. (2007) avaliaram a variação da umidade volumétrica do solo desta área experimental durante o período de 25/04/2007 a 10/10/2007, ou seja, o mesmo período de dados utilizado nesse trabalho. Pelos dados desses autores é possível se calcular o armazenamento de água no solo, até a profundidade de 0,80 m, que é a profundidade que engloba todo sistema radicular da mamona. Desse modo, na fase vegetativa o armazenamento médio acumulado na camada de 0-0,80 m foi de 210,2 mm, enquanto que na fase de floração foi de 204,8 mm. Esses dados mostram que o armazenamento de água no solo nas duas fases, vegetativa e floração, estavam muito próximos, fazendo com que tivesse água disponível para o processo de evapotranspiração.

### 5.2.3 Fase de enchimento de bagas



Nesta fase, 14/09 a 28/09/2007, houve uma escassez de chuvas, ocorrendo apenas 8,1 mm, mas os valores de evapotranspiração (ET) permaneceram elevados com um total de 44,0 mm e um valor médio de 4,0 mm dia<sup>-1</sup>. Esse valor foi superior ao encontrado por Oliveira (2007), o qual foi de 2,82 mm dia<sup>-1</sup>. Já na partição dos componentes da evapotranspiração, a evaporação (E) foi de 6,0 mm, com um valor médio de 0,5 mm dia<sup>-1</sup>, ou seja, 13,7% do total evapotranspirado. Já a transpiração (T) correspondeu a 38,0 mm, com um valor médio de 3,5 mm dia<sup>-1</sup>, ou seja, 86,3% do total evapotranspirado (Figura 4). Isso deve ter ocorrido em virtude que nessa fase a cultura necessita de uma maior quantidade de água em seus processos fisiológicos, onde a água se encontrava armazenada no solo. De acordo com os dados de Silva JM et al. (2007), o armazenamento médio de água no solo, na camada de 0-0,80 m, nessa fase foi de 206,4 mm.

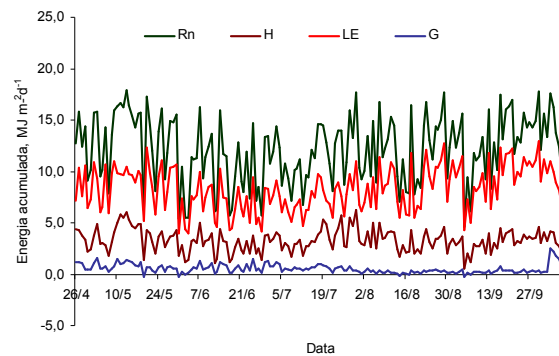


**Figura 4.** Precipitação pluvial, evapotranspiração da mamona e seus componentes (evaporação e transpiração) durante o período de 14/09 a 28/09/2007, em Areia – PB.

Comparando-se os dados de evaporação (E) e de transpiração (T) das três fases fenológicas da mamona (vegetativa, floração e enchimento de bagas), vê-se que o percentual de ET usado como T aumentou de 74,5% na fase vegetativa (Figura 2), para 86,7% na fase de enchimento de bagas (Figura 4). Este fato é explicado devido ao crescimento da cultura, que aumenta sua área foliar, aumentando a cobertura do solo e diminuindo as perdas por evaporação. Além disso, nas fases de floração e de enchimento de bagas (frutificação) as culturas necessitam de mais água para realizarem seus processos fisiológicos.

### 5.3 Balanço de energia

Durante todo o período de cultivo os valores do saldo de radiação (Rn) oscilaram entre 4,59 e 17,92 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, com um valor médio de 12,15 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Os valores de fluxo de calor no solo (G) se mantiveram quase que constantes com uma média de 0,53 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Já os valores de fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H) seguiram as distribuições da precipitação pluvial, pois, nos períodos de maior disponibilidade hídrica do solo, o principal consumidor de energia disponível (Rn - G) é o LE, e quando existe restrição hídrica no solo, o principal consumidor é o H, ou seja, quando não existe restrição hídrica no solo a maior parte da energia disponível é utilizada no processo de evapotranspiração (Figura 5).

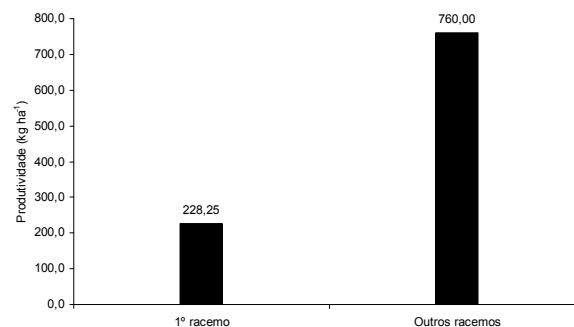


**Figura 5.** Evolução diária dos componentes do balanço de energia sobre a cultura da mamona no período de 26/04 a 09/10/2007, em Areia – PB.

A Rn foi utilizada em média como 68%, 27% e 5% para os fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G), respectivamente. Esse valor de fluxo de calor latente foi superior ao encontrado por Oliveira et al. (2009), que trabalhando na mesma área experimental encontraram um valor de 52%. Isso ocorreu devido, provavelmente, a uma maior precipitação pluvial ocorrida durante o período deste trabalho, elevando o fluxo de calor latente. Na fase de crescimento vegetativo a partição da Rn foi de 6%, 66% e 28% em fluxo de calor no solo, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível, respectivamente. Já para a fase de floração essa partição foi de 2%, 68% e 30%, enquanto que na fase de enchimento de bagas esse valores são de 3%, 73% e 24% em fluxo de calor no solo, fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível, respectivamente.

#### 5.4 Produtividade

A produtividade medida foi de 228,25 kg ha<sup>-1</sup> e 760,00 kg ha<sup>-1</sup>, correspondente ao primeiro e aos outros racemos, respectivamente (Figura 6). A baixa produtividade dos primeiros racemos foi devido à ocorrência do fungo *Botrytis ricini* (mofo cinzento). Somando-se as produtividades, obteve-se uma produtividade total de 988,25 kg ha<sup>-1</sup>. Essa produtividade foi superior a encontrada por Beltrão et al. (2004), que trabalhando em Missão Velha – CE, em uma região Semi-árida, obtiveram 698 kg ha<sup>-1</sup>, em um solo de textura argilo-arenosa, adubado e em condições de sequeiro. Drumond et al. (2004) trabalhando nas condições climáticas de Petrolina – PE, em um Argissolo, encontraram uma produtividade de 674,2 kg ha<sup>-1</sup>, sendo o experimento instalado no final do período chuvoso recebendo um pouco mais de 110 mm de precipitação pluvial nos últimos seis meses do ciclo da mamona.



**Figura 6.** Produtividade do 1º e outros racemos da mamoneira em Areia – PB

Souza (2006), que também trabalhou na mesma área experimental deste trabalho, durante o período de 01/06/2005 a 05/12/2005, encontrou uma produtividade de 207 kg ha<sup>-1</sup> e 324 kg ha<sup>-1</sup>, sem adubação e com adubação, respectivamente, com uma precipitação total durante o período avaliado de 308,4 mm.

A maior produtividade encontrada neste trabalho, quando comparada com a de Souza (2006), pode ter sido devido a uma maior precipitação ocorrida na área experimental e por estas serem bem distribuídas ao longo do período de estudo (Figura 1), resultando num adequado armazenamento de água no solo, que possibilitou atender as necessidades hídricas da cultura durante seu ciclo fenológico. De acordo com Távora (1982), a faixa ideal de precipitação para produção da mamona varia entre 750 e 1500 mm, com um mínimo de 600 a 750 mm durante todo o ciclo da cultura, ajustando-se o plantio de forma que a planta receba de 400 a 500 mm até o início da floração. Neste trabalho o total de chuvas do plantio até o final da floração foi de 586 mm (Figura 1), já na pesquisa de Souza (2006) esse total foi de 366 mm, ou seja, uma diferença de 220 mm.

Apesar da quantidade e da distribuição da precipitação pluvial, ou seja, o armazenamento da água no solo, não serem os únicos fatores responsáveis pelo aumento de produtividade das culturas, pelos dados deste trabalho e pelos dados de Souza (2006), pode-se inferir que a mamona é uma planta bastante exigente em água, uma vez que os dados desses dois trabalhos foram obtidos na mesma área experimental e usando a mesma variedade de mamona.

## 6 CONCLUSÕES

A evapotranspiração da cultura determinada pelo método do balanço de energia – razão de Bowen seguiu as variações da precipitação pluvial, e teve um valor médio de 3,40 mm dia<sup>-1</sup>, com um valor total de 567,15 mm.

A transpiração é o principal componente da evapotranspiração da mamona, representando cerca de 77% do total evapotranspirado. A transpiração consumiu 74,5%, 76,3% e 83,6% da evapotranspiração nas fases vegetativa, de floração e de maturação, respectivamente.

O saldo de radiação (Rn) foi utilizado em média com 68%, 27% e 5% como fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G), respectivamente.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS JÚNIOR, G. et al. Consumo de água e eficiência de uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 350-355, 2008.

BELTRÃO, N. E. M. et al. Crescimento e produtividade econômica e biológica da mamoneira, cultivar BRS 149 Nordestina e BRS 148 Paraguaçu, em regime de sequeiro no Nordeste Brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1, 2004, Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA, CNPA, 2004. CD - ROOM.

BOAST, C. W.; ROBERTSON, T. M. A "Micro-Lysimeter" method for determining evaporation from bare soil: description and laboratory evaluation. **Soil Science Society of**

**America Journal**, Madison, v. 46, n. 4, p. 689-696, 1982.

BORGES, C. J. R. et al. Influência do calor armazenado no sistema solo-planta no balanço de energia em pomar de mangueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 393-399, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Divisão de Agrologia. **Levantamento exploratório**: reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: 1972. 670 p. (Boletim técnico, 15).

DRUMOND, M. A. et al. Avaliação de variedades de mamoneira no município de Petrolina – PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1, 2004, Campina Grande – PB. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA, CNPA, 2004. CD - ROOM.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

FERNANDES, E. J. Estudo do calor sensível e latente obtidos por intermédio da razão de Bowen em uma cultura de soja irrigada. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 281-296, 2007.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 403-410, 1991.

FRONZA, D. **Consumo de água da cultura da estévia (*Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni) estimado por microlisímetro automático**. 2002. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

JARA, J.; STOCKLE, C. O.; KJELGAARD, J. Measurement of evapotranspiration and its components in a corn (*Zea mays* L.) field. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdã, v. 92, n. 2, p. 131-145, 1998.

LIMA, J. R. S. et al. Avaliação dos componentes do balanço de energia num solo cultivado com mamona no brejo paraibano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 1, 2004, Campina Grande, PB. **Anais...** Campina Grande: EMBRAPA, CNPA, 2004. CD - ROOM.

LIMA, J. R. S. et al. Balanço de energia em um solo cultivado com feijão caupi no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 527-534, 2005.

LIMA, J. R. S. et al. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 1, n. único, p.89-95, 2006.

MURRAY, F. W. On the computation of saturation vapor pressure. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 6, n. 1, p. 203-204, 1967.

OLIVEIRA, I. A. **Balanço de energia em mamona, cultivada em sequeiro no Brejo Paraibano**. 2007. 53 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2007.

OLIVEIRA, I. A. et al. Balanço de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 4, n. 2, p. 185-191, 2009.

PEREZ, P. J. et al. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdã, v. 97, n.3, p. 335-348, 1999.

PLAUBORG, F. Evaporation from bare soil in a temperate humid climate—measurement using micro-lysimeters and time domain reflectometry, **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdã, v. 76, n. 1, p. 1-17, 1995.

RODRIGUES, L. N. et al. Modelo de Ritchie para determinações da transpiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e da evaporação direta da água do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 179-185, 1998.

SILVA, J. M. et al. Variação da umidade volumétrica em um solo cultivado com mamona em condições de sequeiro. **Revista Educação Agrícola Superior**, Brasília, v.22, n.1, p.60-62, 2007.

SILVA, T. J. A. et al. Balanço de energia e estimativa da evapotranspiração em culturas irrigadas de maracujazeiro pelo método da razão de Bowen. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 392-403, 2007.

SOUZA, C. B. et al. Fluxos de energia e desenvolvimento na cultura do abacaxizeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 4, p.400-407, 2008.

SOUZA, C. **Balanço hídrico em solo cultivado com mamona (*Ricinus communis* L.) no Brejo Paraibano**. 2006. 70 f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

TÁVORA, F.J.A. **A cultura da mamona**. Fortaleza, 1982. 111p.