

Iane A. de Oliveira²

José R. de S. Lima³

Ivandro de F. da Silva⁴

Antonio C.D. Antonino⁵

Gilberto da C. Gouveia Neto⁶

Carlos A.B. de O. Lira⁵

Balanço de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no Brejo Paraibano¹

RESUMO

A mamona é uma das culturas mais adaptadas à produção de biodiesel na região Nordeste, além de apresentar elevada potencialidade para gerar empregos e fixar o homem no campo. No entanto, apesar da grande importância econômica e social da mamona, bem como de estudos sobre o uso de água, até o momento, não foram realizados trabalhos relacionados ao estudo dos componentes do balanço de energia dessa cultura. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo determinar os componentes do balanço de energia (saldo de radiação, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível e fluxo de calor no solo), em um Latossolo Amarelo cultivado com mamona, pelo método da razão de Bowen. Para tal, instalou-se numa área de 4 ha do Centro de Ciências Agrárias da UFPB, Areia – PB (6° 58'S; 35° 42'W; 620 m) uma torre no centro da área, contendo um pluviômetro, um piranômetro, um saldo radiômetro e sensores para medida da temperatura e da umidade relativa do ar, em dois níveis acima do dossel da cultura; além disso, dois locais no solo foram instrumentados, cada um com duas sondas térmicas instaladas horizontalmente, nas profundidades de $z_1 = 2,0$ cm e $z_2 = 8,0$ cm, além de um sensor destinado à medida do fluxo de calor no solo, a 5,0 cm. Essas medidas foram armazenadas a cada 30 min, em um sistema de aquisição de dados. Verificou-se que o valor médio do saldo de radiação (R_n) foi de 65% da radiação solar global, sendo a R_n utilizada, em média, como 52% no fluxo de calor latente (LE), 38% como fluxo de calor sensível (H) e 10% como fluxo de calor no solo (G). Os maiores valores de LE foram encontrados na fase de enchimento das bagas, indicando um maior consumo de água pela mamona nessa fase.

Palavras-chave: razão de Bowen, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível

Energy balance in castor bean cultivated in rainfed conditions in a mountain area in Paraiba, Brazil

ABSTRACT

The castor bean is one of the crops that are well adapted for producing biodiesel in the northeast of Brazil, besides presenting high potentiality for producing employment and preventing rural exodus. However, despite the great economic and social importance of the castor bean, as well as water balance studies, up to now, no studies have been carried out on the energy balance for this crop. Therefore, the energy balance components in a castor bean crop growing in the mountain region of Paraiba, Brazil ("Brejo Paraibano"), were determined at a 4 ha area in the Centro de Ciências Agrárias, UFPB, belonging to the Municipality of Areia, PB (6° 58' S, 35° 41' W e 620 m). Measurements of rainfall, net and global radiation were made. Sensors at two levels above the canopy were also mounted, allowing the measurements of air temperature and relative humidity and their gradients. Below the soil surface, two different sites were provided with two thermal probes, horizontally installed at depths of 2.0 and 8.0 cm, together with a heat flux plate 5.0 cm deep for soil heat flux measurements. All data were stored in a datalogger each 30 min. The average value of the net radiation was 65% of the global solar radiation, in which 52% appeared as latent heat flux, 38% as sensible heat flux and 10% as soil heat flux. The maximum values of LE were found in the fructification phase when the castor bean are being filled up, thus indicating a major water consumption in this phase by the plant.

Key words: Bowen ratio, latent heat flux, sensible heat flux

² Doutoranda em Tecnologias Energéticas e Nucleares, DEN/UFPE. Recife - PE. Telefone: (81) 2126-7973 e-mail: iane_andrade@yahoo.com.br

³ Professor Adjunto da UAG/UFRPE. Av. Bom Pastor S/N, Boa Vista. CEP 55.296-901, Garanhuns – PE. (87) 3761-0882 e-mail: romualdo_solo@yahoo.com.br

⁴ Professor Associado do DSER/CCA/UFPB. Areia - PB. Telefone: (83) 3362-2300 e-mail: ivandro@cca.ufpb.br

⁵ Professor Associado do DEN/CTG/UFPE. Recife – PE. Telefone: (81) 2126-7973 e-mail: accda@ufpe.br; cabol@ufpe.br

⁶ Mestrando em Engenharia Agrícola, UFCG. Campina Grande - PB. e-mail: neto_gouveia@hotmail.com

INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações na atualidade tem sido a busca por alternativas energéticas para se desenvolver um combustível renovável e menos agressivo ao meio ambiente. Nesta busca, a produção de combustíveis a partir de oleaginosas ganha espaço na economia brasileira, tal como o biodiesel.

Nos últimos anos, o Governo Federal, por meio do PRO-BIODIESEL, vem incentivando o cultivo de plantas oleaginosas, de acordo com o potencial de cada região, para a produção do biodiesel. No Nordeste brasileiro, devido às condições edafoclimáticas, a cultura escolhida para a produção de biodiesel foi a mamona. Além da sua adaptabilidade a essas condições, a cultura da mamona apresenta elevada potencialidade para gerar empregos e fixar o homem no campo, diminuindo o êxodo rural.

A mamona, como qualquer outra cultura comercial, necessita, para produtividades elevadas, de água e nutrientes em momentos e quantidades apropriadas. A falta ou excesso desses insumos são limitantes à produção, determinando em muitos casos a sua diminuição. O conhecimento do uso de água pelas culturas (evapotranspiração) é de grande interesse para estudos que envolvam a dinâmica da absorção de água e de nutrientes.

Entre muitos métodos de medição e estimativa de evapotranspiração, tem-se em destaque o do balanço de energia – razão de Bowen. O processo de evapotranspiração é governado pela troca de energia na superfície vegetada, limitada pela energia disponível, sendo possível estimar-se o fluxo de calor latente pela equação do balanço de energia. A solução dessa equação é obtida conhecendo-se R_n e G , por meio de medidas, e a razão de Bowen ($\hat{\alpha}$) (Teixeira, 2001).

O estudo do balanço de energia de superfícies com água livre, com ou sem vegetação natural ou culturas, irrigadas ou não, tem grande importância em estudos de trocas de energia e de massa na camada limite superficial e, por conseguinte, em estudos agroclimáticos, de modelagem numérica e de estimativas evaporativas ou evapotranspirativas (Lopes et al., 2001).

O método do balanço de energia – razão de Bowen possibilita determinar os valores da demanda atmosférica em escala horária e até mesmo em escalas menores (Galvani et al., 2001), e tem sido largamente utilizado por vários pesquisadores (Perez et al., 1999; Teixeira, 2001; San José et al., 2003; Lima et al., 2005; Vila Nova et al., 2006; Azevedo et al., 2007).

No entanto, apesar da grande importância econômica e social da mamona, bem como de estudos sobre o uso de água, até o momento, não foram realizados trabalhos relacionados ao estudo dos componentes do balanço de energia dessa cultura. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo determinar os componentes do balanço de energia (saldo de radiação, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível e fluxo de calor no solo) em um cultivo de mamona, em condições de sequeiro, na região do Brejo Paraibano.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização, clima e solo da área experimental

As medidas para a realização do balanço de energia foram efetuadas em uma área de 4,0 ha localizada na Fazenda experimental Chã de Jardim, pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, situado na microrregião do Brejo Paraibano, no município de Areia, Estado da Paraíba ($6^{\circ}58'12''$ S; $35^{\circ}42'15''$ W; 620 m).

O clima na região, pela classificação de Köppen, é do tipo As' (quente e úmido). De acordo com dados da Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba a precipitação média anual no município de Areia é de 1400 mm, a temperatura média anual é de $24,5^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa média é de 80%. O quadrimestre mais chuvoso é constituído dos meses de abril, maio, junho e julho, e representa 62% do total médio anual.

O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2006). Maiores detalhes quanto a caracterização química e física do solo da área experimental podem ser obtidos em Lima et al. (2006).

Período de medição e manejo cultural

O estudo dos componentes do balanço de energia foi realizado em solo cultivado com mamona, no período de 22 de junho a 11 de novembro de 2005. O plantio da cultura foi realizado manualmente e se estendeu de 31 de maio a 01 de junho de 2005, sendo a colheita realizada no dia 05/12/2005. O espaçamento entre linhas foi de 2,0 m e entre plantas de 1,0 m, sendo colocadas duas sementes por cova. Foram realizadas duas capinas manuais durante a condução do experimento; também foi efetuada uma adubação em cobertura, tendo como base a análise de fertilidade do solo, com 300 kg ha^{-1} de sulfato de amônia, 178 kg ha^{-1} de superfosfato triplo e 100 kg ha^{-1} de cloreto de potássio, a qual foi realizada no dia 09 de agosto de 2005.

A descrição das fases fenológicas da cultura da mamona foi realizada de acordo com Souza (2006).

Instrumentação e componentes do balanço de energia

Para a realização do balanço de energia foi instalada uma torre no centro da área contendo dois sensores de medidas da temperatura e da umidade relativa do ar, em dois níveis ($z_1 = 0,35$ e $z_2 = 1,05$ m) acima do dossel da cultura. Com a evolução da altura da cultura ocorria elevação da altura desses sensores, de modo que os níveis de medição se mantivessem nas alturas estabelecidas. Também, instalou-se um piranômetro para a medida da radiação global, um saldo radiômetro para as medições do saldo de radiação e um pluviógrafo, para a medida da precipitação pluvial. Os sensores foram instalados na altura de 2,0 m da superfície do solo; já para a medida do fluxo de calor no solo instalaram-se fluxímetros 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 $z_1 = 0,02$ e $z_2 = 0,08$ m. Todas essas medidas foram realizadas a cada 60 segundos e armazenadas como médias a

cada 30 min, em um sistema de aquisição de dados CR 10X da Campbell Scientific, com exceção da precipitação pluvial, cujo dado armazenado foi o valor total.

O fluxo de calor na superfície do solo (G), foi dado de acordo com Kustas et al. (2000) (eq.1):

$$G = G_p + \frac{\Delta T_s CD}{t} \quad (1)$$

sendo G_p a medição do fluxo de calor pelo fluxímetro, DT_s a variação na temperatura média do solo ($^{\circ}C$) durante o período de medição, C a capacidade térmica volumétrica do solo ($MJ m^{-3} ^{\circ}C^{-1}$), D a profundidade do fluxímetro (m) e t a duração do período de medição (s).

O valor de C foi estimado somando-se as capacidades caloríficas dos vários constituintes do solo, ponderados de acordo com suas frações de volume, com base em de Vries (1966) (eq.1):

$$C = 1,92f_m + 2,51f_o + 4,18\theta \quad (2)$$

sendo f_m a fração de volume dos minerais, f_o a fração de volume da matéria orgânica e θ a umidade volumétrica do solo.

O balanço de energia na superfície do solo pode ser escrito por meio da seguinte equação (Perez et al., 1999; Todd et al., 2000) (eq.3):

$$R_n = G + H + LE \quad (3)$$

na qual R_n é o saldo de radiação ($W m^{-2}$), G 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 partição da energia disponível ($R_n - G$) entre fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível, pode ser obtida pelo método do balanço de energia, baseado na razão de Bowen, obtida com as diferenças na temperatura do ar e na pressão de vapor, em dois níveis (Perez et al., 1999) (eq.4):

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (4)$$

em que γ é a constante psicrométrica ($0,066 kPa ^{\circ}C^{-1}$, para psicrômetro aspirado); DT a diferença de temperatura do ar ($^{\circ}C$) e De a diferença da pressão de vapor (kPa).

A partir das medições do saldo de radiação (R_n), do fluxo de calor no solo (G) e das diferenças de temperatura do ar (DT) e da pressão de vapor (De), juntamente com a equação do balanço de energia (Eq. 3) e a razão de Bowen (β) (Eq. 4), procedeu-se ao cálculo dos fluxos de calor latente (LE) e calor sensível (H) segundo as equações 5 e 6:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (5)$$

$$H = \frac{\beta}{1 + \beta} (R_n - G) \quad (5)$$

Para se evitar possíveis erros na estimativa dos fluxos de calor latente e de calor sensível, os valores da razão de Bowen menores do que $-0,75$ (Ortega-Farias et al., 1996), bem como aqueles valores nos quais as medições dos gradientes

de temperatura e de pressão de vapor estavam menores do que o limite da resolução dos sensores foram eliminados, sendo estes substituídos por interpolação dos valores precedentes e subsequentes válidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução da precipitação pluvial juntamente com as fases fenológicas da cultura da mamona são apresentadas na Figura 1. Verifica-se que ocorreu no período de 22 a 164 DAP, dias após o plantio, (22/06/2005 a 11/11/2005) um total de chuvas de 378,20 mm, com uma distribuição regular apenas até o dia 12/09/2005 (104 DAP); a partir daí houve uma drástica diminuição da precipitação pluvial. Observou-se, ainda, que dos 143 dias de estudo, 79 foram sem registro de precipitação pluvial, sendo que em apenas 51 dias ocorreram precipitações de até 10 mm e em somente 13 dias ocorreram precipitações superiores a 10 mm. O maior evento chuvoso foi de apenas 36,0 mm e ocorreu aos 85 DAP, ou seja, no dia 24/08/2005.

No período de 22 a 36 DAP (22/06 a 06/07/2005), o qual corresponde à fase de emergência da mamoneira, ocorreu

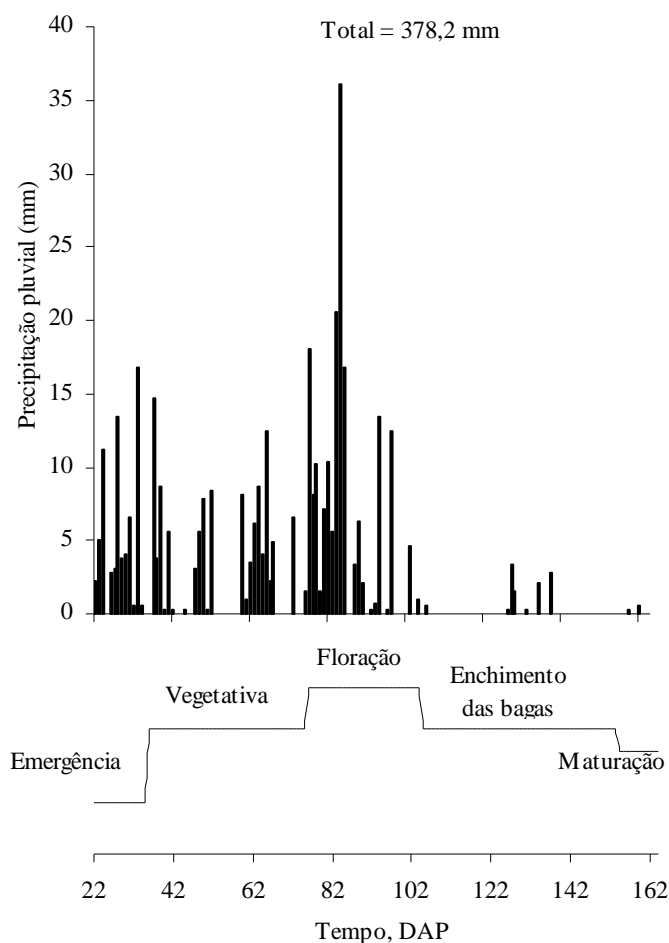


Figura 1. Precipitação pluvial e fases fenológicas da mamona durante o período de 22 a 164 DAP (22/06/2005 a 11/11/2005), em Areia-PB

Figure 1. Rainfall and phenological phases of castor bean during the period from 22 to 164 DAP (22/06/2005 to 11/11/2005), at Areia-PB

uma precipitação total de 70,1 mm; já no período de 37 a 75 DAP (07/07 a 14/08/2005), fase vegetativa, ocorreu uma precipitação total de 116,3 mm; no período de 76 a 104 DAP (15/08 a 12/09/2005), que corresponde à fase de floração, esse total foi de 179,3 mm e nas fases de enchimento de bagas (105 a 153 DAP) e de maturação (154 a 164 DAP) praticamente não ocorreu precipitação pluvial, com totais de 11,7 mm e 0,8 mm, respectivamente.

O comportamento da variação diária da razão entre o saldo de radiação (R_n) e a radiação global (R_g), bem como da razão entre os fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G), e o saldo de radiação (R_n) é apresentado na Figura 2.

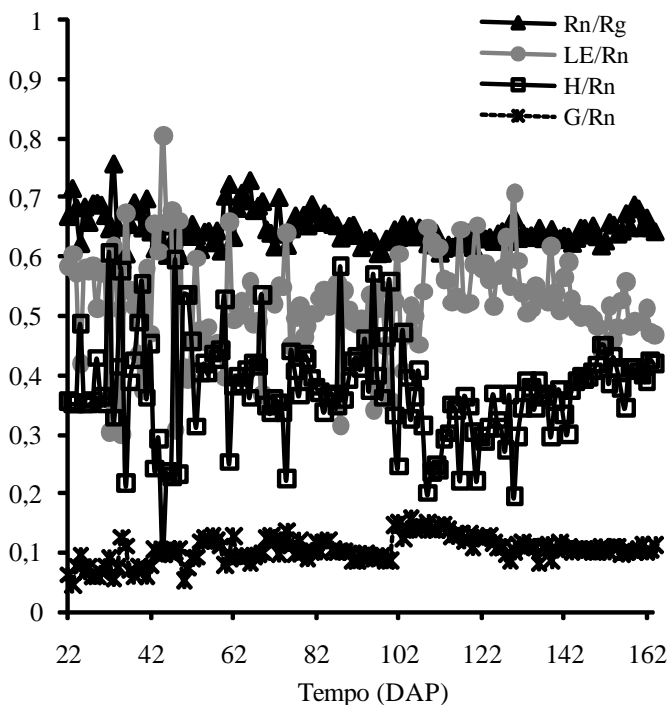


Figura 2. Variação diária da relação entre o saldo de radiação (R_n) e a radiação solar global (R_g), e entre o saldo de radiação e os fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G), na cultura da mamona, durante o período de 22 a 164 DAP (22/06/2005 a 11/11/2005), em Areia, PB

Figure 2. Diary change of the ratios between net radiation (R_n) and global radiation (R_g) and between the latent heat (LE), sensible heat (H) and soil heat (G) fluxes and net radiation (R_n) in castor bean crop, during the period from 22 to 164 DAP (22/06/2005 to 11/11/2005), at Areia-PB

Observa-se que a fração da radiação solar global (R_g) transformada em energia disponível ao sistema, ou seja, saldo de radiação (R_n), apresenta distribuição regular e valor médio de $0,65 \pm 0,03$, alcançando valor máximo de 0,76 aos 33 DAP, enquanto o menor valor (0,59) foi observado aos 35 DAP.

Teixeira et al. (1997) observaram na cultura da videira que a razão entre o saldo de radiação e a radiação solar global (R_n/R_g) variou de um mínimo de 0,57 até um máximo de 0,71, com esse máximo valor coincidindo com o início do florescimento da cultura.

Na Figura 2 são apresentados, também, os valores da partição do saldo de radiação (R_n) entre os fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G).

Vê-se que a maior porção do saldo de radiação (R_n) foi utilizada como fluxo de calor latente (LE), com valor médio de $0,52 \pm 0,08$ para todo período estudado. Os maiores valores de LE foram encontrados nos primeiros dias após o plantio, devido aos elevados valores de precipitação pluvial nesse período (Figura 1), bem como na fase de enchimento das bagas (105 a 153 DAP), que é a fase onde a cultura utiliza mais água.

A partição entre o fluxo de calor sensível e o saldo de radiação (H/R_n), mostra que o valor médio no período estudado foi de $0,38 \pm 0,09$, com o maior valor (0,61) ocorrendo aos 30 DAP. Já para a porção do saldo de radiação utilizada pelo fluxo de calor no solo (G/R_n), os valores mais elevados foram encontrados na fase de enchimento das bagas, em um período sem ocorrência de chuvas (Figura 1). Os valores da razão G/R_n variaram entre 0,16 e 0,04, com valor médio de $0,10 \pm 0,02$.

Vários trabalhos com balanço de energia em culturas anuais e perenes concluíram que a maior porção do saldo de radiação é transformada em fluxo de calor latente (Teixeira, 2001; Cunha et al., 2002; Pezzopane & Pedro Júnior, 2003). Lopes et al. (2001), estudando a partição do saldo de radiação em um pomar de mangueiras irrigado na região de Petrolina, PE, encontram valores médios de 0,74, 0,21 e 0,05 para as razões LE/R_n , H/R_n e G/R_n , respectivamente. Lima et al. (2005), trabalhando com feijão caupi na mesma área e solo dessa pesquisa, encontraram valores médios de 0,71, 0,19 e 0,10 para as razões LE/R_n , H/R_n e G/R_n , respectivamente.

A variação horária do saldo de radiação (R_n), do fluxo de calor latente (LE), do fluxo de calor sensível (H) e do fluxo de calor no solo (G), para dias representativos de cada fase fenológica da mamona é apresentada nas Figuras 3, 4, 5 e 6.

Os dados relativos à fase de emergência estão apresentados nas Figuras 3A e 3B.

Observa-se que no dia 22/06/2005 (Figura 3A) o fluxo de calor latente consumiu 58% do saldo de radiação, o fluxo de

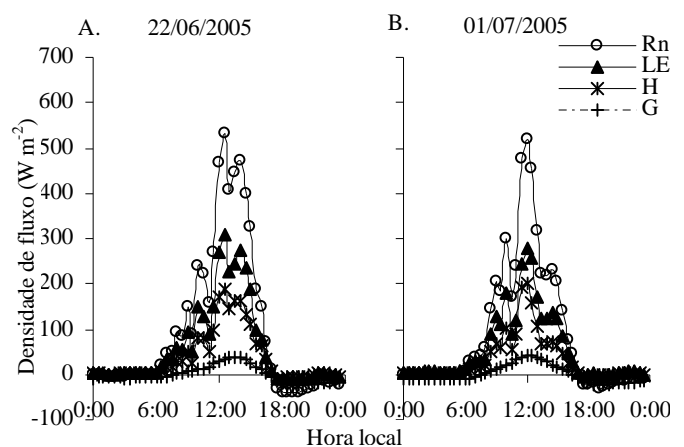


Figura 3. Variação horária dos componentes do balanço de energia na cultura da mamona, durante a fase de emergência

Figure 3. Hourly change of the energy balance components in castor bean, during the emergence phase

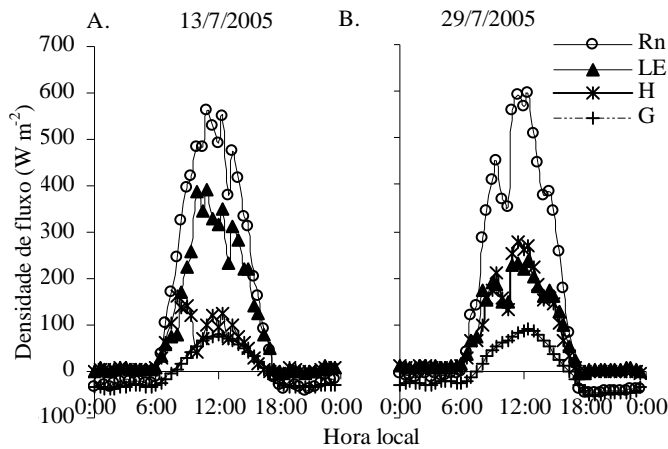


Figura 4. Variação horária dos componentes do balanço de energia na cultura da mamona, durante a fase vegetativa

Figure 4. Hourly change of the energy balance components in castor bean, during the vegetative phase

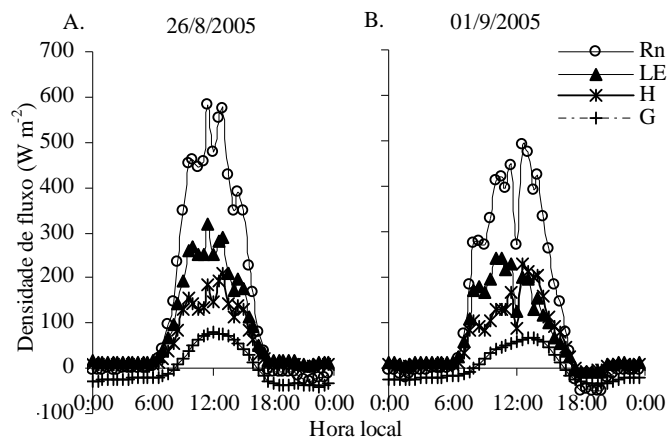


Figura 5. Variação horária dos componentes do balanço de energia na cultura da mamona, durante a fase de floração

Figure 5. Hourly change of the energy balance components in castor bean, during the florescence phase

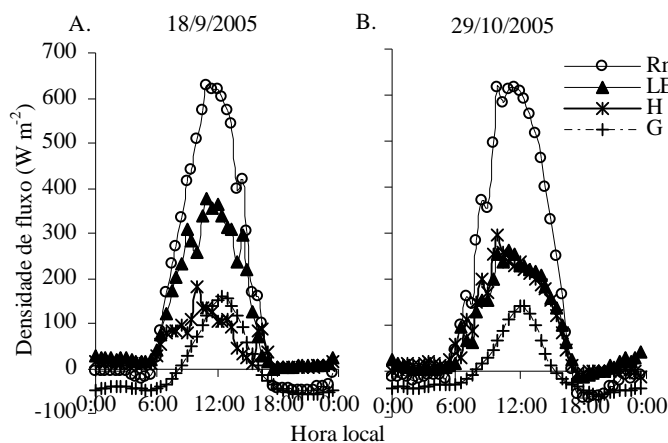


Figura 6. Variação horária dos componentes do balanço de energia na cultura da mamona, durante a fase de enchimento das bagas

Figure 6. Hourly change of the energy balance components in castor bean, during the fructification phase

calor sensível 36% e o fluxo de calor no solo 6%. O comportamento do saldo de radiação, com pequenas variações, indica que nesse dia ocorreu uma baixa nebulosidade. O dia 01/07/2005 (Figura 3B) apresentou uma nebulosidade maior que o dia 22/06/2005; no entanto, a partição do saldo de radiação foi muito semelhante ao do dia anterior com 57, 35 e 8%, para os fluxos de calor latente, sensível e no solo, respectivamente.

O comportamento dos componentes do balanço de energia para os dias analisados na fase de emergência da mamoneira (Figura 4) mostra os processos que ocorrem no solo quando a cobertura vegetal é reduzida, já que quanto maior a umidade volumétrica do solo maior a quantidade de energia utilizada no processo de evaporação da água do solo. Nessa fase os fatores atmosféricos e do solo possuem uma maior participação do que os fatores da cultura na variação dos componentes do balanço de energia.

A variação horária dos componentes do balanço de energia quando a cultura da mamona se encontrava na fase vegetativa é apresentada na Figura 4.

Observa-se no dia 13/07/2005 (Figura 4A), que o fluxo de calor latente (LE) foi bem maior que o fluxo de calor sensível (H), sendo a partição do saldo de radiação de 66, 24 e 10%, para os fluxos de calor latente, sensível e no solo, respectivamente. Neste dia a razão $LE/(Rn-G)$ foi de 0,73, ou seja, 73% da energia disponível foi utilizada no processo de evapotranspiração. Já no dia 29/07/2005 (Figura 4B), que corresponde aos 59 DAP, os fluxos de calor latente e sensível foram praticamente iguais, consumindo 45 e 44% do saldo de radiação, respectivamente, enquanto o fluxo de calor no solo foi igual ao do dia 13/07/2005, consumindo 11% do saldo de radiação. Soares et al. (2003), analisando os valores médios diários dos componentes do balanço de energia durante a fase vegetativa da videira em Petrolina, PE, encontraram que o saldo de radiação foi utilizado como 77, 10 e 13% nos fluxos de calor latente, sensível e no solo, respectivamente.

Esta variação dos fluxos de calor latente e de calor sensível entre os dias 13/07/2005 (Figura 4A) e 29/07/2005 (Figura 4B) pode ser explicada pela quantidade de água disponível no sistema solo-planta-atmosfera, uma vez que a precipitação no período de 07 a 13/07/2005 foi de 33,3 mm, com os maiores valores do fluxo de calor latente ocorrendo no dia 13/07/2005. No entanto, no dia em que o fluxo de calor sensível (29/07/2005) teve seus valores mais elevados, não ocorreu precipitação por sete dias seguidos, ou seja, de 23 a 29/07/2005 (Figura 1).

A variação horária dos componentes do balanço de energia para dias representativos da fase de floração é apresentada na Figura 5. Observa-se no dia 26/08/2005 (Figura 5A) que o fluxo de calor latente foi bem maior que o fluxo de calor sensível. Nesse dia, cerca de 65% da energia disponível ($Rn-G$) foi utilizada como fluxo de calor latente (LE). Para o dia 01/09/2005 (Figura 5B), que corresponde aos 93 DAP (dias após o plantio) o fluxo de calor sensível ficou mais próximo do fluxo de calor latente, sendo 40% da energia disponível utilizada como fluxo de calor sensível. O fluxo de calor no solo teve valores similares para ambos os dias, consumindo 10% do saldo de radiação.

Novamente, a explicação para essa variação dos fluxos de calor latente e sensível se deve a quantidade de água precipitada, uma vez que no período de 23 a 26/08/2005 choveu 73,4 mm e no período de 30/08/2005 a 01/09/2005 apenas 2,3 mm.

Observa-se, ainda, no dia 01/09/2005 (Figura 5B) que ocorreu um elevado declínio dos valores dos componentes do balanço de energia por volta das 12 h, provavelmente devido a uma elevada nebulosidade. Lopes et al. (2001), analisando os componentes do balanço de energia um pomar de mangueiras irrigado em Petrolina-PE, observaram que na fase de floração, ocorreu uma variabilidade acentuada na nebulosidade após o meio-dia e que os valores dos fluxos de calor no solo, sensível e latente representaram 4,3, 22,3 e 73,4% do saldo de radiação, respectivamente.

Na Figura 6 é apresentada a variação horária dos componentes do balanço de energia durante a fase de enchimento de bagas. Observando-se a Figura 6A, dia 18/09/2005, vê-se que todos os componentes do balanço de energia apresentaram-se com valores elevados, com o fluxo de calor latente consumindo 63% do saldo de radiação e o fluxo de calor sensível 24%. No dia 29/10/2005 os valores dos fluxos de calor latente e sensível foram praticamente iguais, consumindo, respectivamente, 44 e 45% do saldo de radiação. Essa diferença nos valores dos fluxos de calor latente e sensível para os dias 18/09/2005 e 29/10/2005 pode ser explicada não apenas pela quantidade de água precipitada, mas também, pela fase fenológica em que a cultura se encontrava, já que as precipitações praticamente cessaram no dia 13/09/2005, ou seja, aos 110 DAP (Figura 1). A fase de enchimento das bagas corresponde ao período em que a mamona precisa de mais água para os seus processos fisiológicos, assim sendo, a planta deve está extraindo água de camadas mais profundas para satisfazer a sua demanda.

Observa-se, ainda, nas Figuras 6A e 6B que o fluxo de calor no solo (G) apresentou valores mais elevados quando comparados aos valores das fases anteriores (Figuras 3, 4 e 5). Em média, nessa fase, o fluxo de calor no solo consumiu 12-14% do saldo de radiação, enquanto nas fases anteriores 8-10%. A elevação dos valores do fluxo de calor no solo deve ter ocorrido em virtude de uma menor umidade volumétrica do solo, devido à escassez das precipitações pluviárias (Figura 1).

CONCLUSÕES

Para as condições nas quais o trabalho foi realizado pode-se concluir que:

No período de 22/06/2005 a 11/11/2005 o saldo de radiação foi 65% da radiação solar global, sendo o saldo de radiação utilizado, em média, como 52% no fluxo de calor latente, 38% como fluxo de calor sensível e 10% como fluxo de calor no solo.

A porção do saldo de radiação utilizada como fluxo de calor latente foi maior na fase de enchimento das bagas (55%); a utilizada como fluxo de calor sensível foi maior na fase de flo-

ração (43%) e a utilizada como fluxo de calor no solo foi maior na fase enchimento das bagas (12%).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor; à Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado da Paraíba – FAPESQ (Termo de concessão 021/05, Edital 002/03 – FAPESQ/MCT/CNPq) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processos N^{os} 556293/2006-1, 486128/2006-7 e 151494/2007-0), pela concessão de recursos financeiros e de bolsas ao segundo e quarto autores; ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água do Centro de Ciências Agrárias da UFPB, pela estrutura didático-científica.

LITERATURA CITADA

- Azevedo, P.V. de; Souza, C.B. de; Silva, B.B. da; Silva, V. de P.R. da. Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment, Brazil. *Agricultural Water Management*, v.88, n.1-3, p.201-208, 2007.
- Cunha, A.R.; Escobedo, J.F.; Klosowski, E.S. Estimativa do fluxo de calor latente pelo balanço de energia em cultivo protegido de pimentão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.6, p.735-743, 2002.
- de Vries, D.A. Thermal properties of soils. In: van Wijk, W.R. (ed.). *Physics of plant environment*. Amsterdam: North-Holland, 1966. p.210-233.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 306p.
- Galvani, E.; Escobedo, J.F.; Pereira, A.B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. *Bragantia*, v.60, n.2, p.139-147, 2001.
- Kustas, W.P.; Prueger, J.H.; Hatfield, J.L.; Ramalingam, K.; Hipps, L.E. Variability in soil heat flux from a mesquite dune site. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.103, n.3, p.249-264, 2000.
- Lima, J.R. de S.; Antonino, A.C.D.; Soares, W. de A.; Borges, E.; Silva, I. de F. da; Lira, C.A.B. de O. Balanço de energia em um solo cultivado com feijão caupi no brejo paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, p. 527-534, 2005.
- Lima, J.R. de S.; Antonino, A.C.D.; Soares, W. de A.; Souza, E.S. de; Lira, C.A.B. de O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.1, n.único, p.89-95, 2006.
- Lopes, P.M.O; Silva, B.B. da; Azevedo, P.V. de; Silva, V. de P.R. da; Teixeira, A.H. de C; Soares, J.M.; Espínola Sobrinho, J. Balanço de energia num pomar de mangueiras irrigado. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.9, n.1, p.1-8, 2001.

- Ortega-Farias, S.O.; Cuenca, R.H.; Ek, M. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.81, n.1-2, p.131-143, 1996.
- Perez, P.J.; Castellvi, F.; Ibáñez, M.; Rosell, J.I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.97, n.3, p.141-150, 1999.
- Pezzopane, J.R.M.; Pedro Júnior, M.J. Balanço de energia em vinhedo de 'Niagara rosada'. *Bragantia*, v.62, n.1, p.155-161, 2003.
- San José, J.J.; Bracho, R.; Montes, R.; Nikonova, N. Comparative energy exchange from cowpeas (*Vigna unguiculata* (L) Walp) cvs. TC-9-6 and M-28-6-6) with differences in canopy architectures and growth durations at the Orinoco llanos. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.116, n.3-4, p.197-219, 2003.
- Soares, J.M.; Azevedo, P.V. de; Silva, B.B. Balanço de energia em videira cultivada na região do Submédio do São Francisco. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.11, n.2, p.207-214, 2003.
- Souza, C. de. Balanço hídrico em solo cultivado com mamona (*Ricinus communis* L.) no Brejo Paraibano. Areia: Universidade Federal da Paraíba, 2006. 70p. Dissertação Mestrado.
- Steduto, P.; Hsiao, T.C. Maize canopies under two soil water regimes IV. Validity of Bowen ratio-energy balance technique for measuring water vapor and carbon dioxide fluxes at 5 min intervals. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.89, n.3-4, p.215-228, 1998.
- Teixeira, A.H. de C; Azevedo, P.V. de; Silva, B.B. da; Soares, J.M. Balanço de energia na cultura da videira, cv. "Itália". *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.5, n.2, p.137-141, 1997.
- Teixeira, A.H.C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.1, p.28-32, 2001.
- Todd, R.W.; Evett, S.R.; Howell, T.A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.103, n.4, p.335-348, 2000.
- Villa Nova, N.A.; Miranda, J.H.; Pereira, A.B.; Silva, K.O. Estimation of the potential evapotranspiration by a simplified Penman Method. *Engenharia Agrícola*, v.26, n.3, p.713-721, 2006.