

# VARIAÇÃO DOS FLUXOS DE ENERGIA EM UMA ÁREA CULTIVADA COM MAMONA SOB CONDIÇÕES DE SEQUEIRO NO BREJO PARAIBANO

*José Romualdo de Sousa Lima<sup>1</sup>; Antonio Celso Dantas Antonino<sup>2</sup>*

**RESUMO** – O objetivo do presente trabalho foi avaliar a variação sazonal do saldo de radiação (Rn), e dos fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G), determinados pelo método da razão de Bowen, em mamona cultivada em condições de sequeiro. Para tal, foram utilizados dados de experimentos de três anos, 2004, 2005 e 2007. Os experimentos foram desenvolvidos numa área de 04 ha do CCA/UFPB, localizada no município de Areia, PB. No centro da área, instalou-se uma torre meteorológica, contendo um pluviógrafo, um piranômetro, um saldo radiômetro e sensores para medida da temperatura e da umidade relativa do ar, em dois níveis acima do dossel da mamona; além disso, no solo, foram instalados dois fluxímetros a 0,05 m de profundidade. Nos três anos, o Rn variou de 53,2 a 461,7 W m<sup>-2</sup>, o G variou de -10,5 a 58,9 W m<sup>-2</sup>, o LE de 85,1 a 281,4 W m<sup>-2</sup>, enquanto o H de 13,2 a 191,9 W m<sup>-2</sup>. Em relação à partição de Rn entre LE e H, verificou-se que em 2004 a razão LE/Rn foi de 53% e H/Rn de 35%, já em 2007 a razão LE/Rn foi de 67% e a H/Rn foi de 25%.

**Abstract** – The objective of this study was to assess the energy balance components (net radiation, latent heat flux, sensible heat flux and soil heat flux) of castor bean under rainfed conditions. To this end, we used data from experiments in three years, 2004, 2005 and 2007. The experiments were realized in a 4 ha area in the CCA/UFPB, belonging to the Municipality of Areia, PB. To determine the energy balance was used the Bowen ratio method, and for that the area was instrumented with a micrometeorological tower contained sensors for measuring air temperature and relative humidity (at two levels). Measurements of global and net radiation, and rainfall also were made. In the soil, were installed two heat flux plates at 0.05 m deep for soil heat flux measurements. Over 3 years, the Rn varied from 53.2 to 461.7 W m<sup>-2</sup>, G varied from -10.5 to 58.9 W m<sup>-2</sup>, LE from 85.1 to 281.4 W m<sup>-2</sup>, while H from 13.2 to 191.9 W m<sup>-2</sup>. Regarding the partition of Rn between LE and H, it was found that in 2004 the ratio LE/Rn was 53% and H/Rn of 35%, in 2007 the ratio LE/Rn was 67% and H/Rn was 25%.

**Palavras-Chave** – saldo de radiação, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível.

<sup>1</sup> Prof. Adjunto, UAG/UFRPE, Av. Bom Pastor S/N, Boa Vista, Garanhuns-PE, CEP: 55.292-270 (87) 3761-0882 [romualdo@uag.ufrpe.br](mailto:romualdo@uag.ufrpe.br)

<sup>2</sup> Prof. Associado, DEN/UFPE, Av. Prof. Luiz Freire, 1000, Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50.740-540, (81) 2126-7973 [acda@ufpe.br](mailto:acda@ufpe.br)

## 1 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Governo Federal, por meio do PROBIODIESEL, 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 (Oliveira *et al.*, 2009).

A mamona é uma cultura difundida em praticamente todo o território brasileiro, tendo já ocupado posição de destaque no agronegócio do país, com potencial para soerguer e contribuir para o desenvolvimento agrícola sustentável. Encontra-se bastante expandida nos estados do Nordeste, onde existem cerca de 3 milhões de hectares aptos ao cultivo da mamona. Com exceção de Sergipe e Maranhão, todos os estados do Nordeste têm tradição na exploração de mamona, sendo a Bahia o maior produtor, seguida pelo Ceará (Alves *et al.*, 2004).

Para obter bons lucros com a cultura da mamona, além de fatores importantes como o mercado e comercialização, é necessário, que outros fatores estejam em níveis adequados, para que esta cultura produza em níveis ótimos. Para tanto, faz-se necessário a realização de pesquisas em torno de fatores que influenciam a sua produção, tais como: genética, nutrição, técnicas de cultivo, o uso de água pela cultura, entre outros. Destes, a questão do uso da água (evapotranspiração) pela mamoneira é um tema pouco estudado e escasso na literatura (Silva *et al.*, 2007).

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 de evaporação, através do princípio de conservação da energia, em que o ganho é igual à perda. Com base neste princípio, estima-se a evapotranspiração através da fórmula simplificada da equação do balanço de energia, composta pelo saldo de radiação ( $R_n$ ), pelos fluxos de calor latente (LE) e sensível na atmosfera (H) e pelo fluxo de calor no solo (G). A solução da equação é obtida por medições de  $R_n$  e G e de estimativas de LE e H através da razão de Bowen ( $\beta$ ) (Teixeira *et al.*, 1999).

O método do balanço de energia-razão de Bowen tem sido largamente utilizado por vários pesquisadores (Azevedo *et al.*, 2003; Lima *et al.*, 2005; Azevedo *et al.*, 2007; Teixeira *et al.*, 2008; Lima *et al.*, 2011), sendo que a maioria desses trabalhos mediram os componentes do balanço de energia em períodos curtos de tempo, englobando, no máximo, o ciclo da cultura. Por exemplo, Oliveira *et al.* (2009) mediram os componentes do balanço de energia na cultura da mamona durante um ciclo completo. Esses autores encontraram que o saldo de radiação foi utilizado, 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).

No entanto, trabalhos que mediram os componentes do balanço de energia e a evapotranspiração da mamona em períodos mais longos de tempo, são escassos na literatura. Experimentos de longo prazo são essenciais para se aumentar a compreensão sobre as variações sazonais e interanuais na partição da energia e no consumo de água pelas culturas.

Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo investigar as características sazonais do balanço de energia e da evapotranspiração em mamona cultivada sob condições de sequeiro.

## **2 – MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização, clima e solo da área experimental**

Os experimentos com a cultura da mamona foram efetuados 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°58'12" S; 35°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 1.400 mm; a temperatura média anual, de 24,5 °C, e a umidade relativa média, de 80%. O quadrimestre mais chuvoso – constituído dos meses de abril, maio, junho e julho – representa 62% do total médio anual.

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

### **2.2 Manejo cultural da mamona**

Os dados utilizados nesta pesquisa são de experimentos realizados com a cultura da mamona nos anos de 2004, 2005 e 2007. No ano de 2004 o plantio da mamona foi realizado nos dias 16/06 e 17/06/2004, sendo a colheita realizada no mês de novembro (15 a 20/11/2004). No ano de 2005, o plantio foi de 31/05 a 01/06/2005 e a colheita realizada no período de 05 a 19/12/2005. Para o ano de 2007 o plantio foi realizado de 25 a 26/04, sendo a colheita realizada de 02 a 10/11/2007. Nos três anos de experimento foi utilizada a cultivar BRS 14 Nordestina, sendo o plantio realizado manualmente, com um espaçamento de 2,0 x 1,0 m.

Durante a condução dos experimentos foram observadas todas as técnicas (capinas, controle de pragas e de doenças) que se fizeram necessárias. Em 2005 foi realizada adubação, de acordo com a análise de fertilidade do solo, em cobertura, nos dias 09/08 e 10/08/2005, que constou de 300 kg ha<sup>-1</sup> de sulfato de amônia, 178 kg ha<sup>-1</sup> de superfosfato triplo e 100 kg ha<sup>-1</sup> de cloreto de potássio. Nos anos de 2004 e 2007 essas práticas não foram realizadas.

### **2.3 Armazenamento de água no solo e fluxos de energia**

Para a medição do armazenamento de água no solo na camada de 0-1,60 m, foram instalados sensores tipo TDR (CS 615, Campbell Scientific Inc., USA) nas profundidades de 0,20, 0,40, 0,60, 0,80, 1,00, 1,20 e 1,60 m.

Para determinação 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 (HMP45C, Vaisala, Helsinki, Finland), em dois níveis ( $z_1 = 0,35$  e  $z_2 = 1,05$  m) acima do dossel da cultura, os quais foram estabelecidos de acordo com a área de bordadura ou “fetch”. Nesta pesquisa, o fetch variou de 100:1 a 141:1, ou seja, a espessura da zona a fluxo conservativo variou de 1,00 m a 1,41 m, sendo que as medidas dos componentes do balanço de energia estavam dentro dessa faixa, uma vez que o maior nível de medição foi de 1,05 m (Lima, 2004). Com a evolução da altura da cultura, a altura desses sensores aumentava de modo que os níveis de medição se mantivessem nas alturas estabelecidas. Instalaram-se também um piranômetro (LI-200X, LI-COR Inc., Lincoln, NE, USA) para a medida da radiação global, um saldo radiômetro (Q7, Campbell Scientific Inc., USA) para as medições do saldo de radiação e um pluviógrafo (TE 525WS-L, Texas Eletronics) para a medida da precipitação pluvial. Os sensores foram instalados à altura de 2,0 m da superfície do solo, ao passo que para a medida do fluxo de calor no solo instalaram-se fluxímetros (HFT3, Campbell Scientific Inc., USA) em dois locais, na profundidade  $z = 0,05$  m, juntamente com um sensor de umidade do solo (CS 615, Campbell Scientific Inc., USA), na mesma profundidade, além de duas sondas térmicas (108L, Campbell Scientific Inc., USA) 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 minutos, em um sistema de aquisição de dados (CR10X, Campbell Scientific Inc., USA), com exceção da precipitação pluvial, cujo dado armazenado foi o valor total.

O balanço de energia é descrito pela seguinte equação (Lima *et al.*, 2011):

$$R_n = LE + H + G \quad (1)$$

sendo  $R_n$  o saldo de radiação,  $LE$  o fluxo de calor latente,  $H$  o fluxo de calor sensível e  $G$  o fluxo de calor no solo. Todos os termos dessa equação estão em  $W m^{-2}$ .

O saldo de radiação ( $R_n$ ) foi obtido por meio das medições realizadas pelo saldo radiômetro. O fluxo de calor na superfície do solo ( $G$ ) foi obtido a partir da medição do fluxo de calor pelo fluxímetro na profundidade  $z = 0,05$  m, de acordo com Kustas *et al.* (2000).

Os fluxos de calor latente ( $LE$ ) e calor sensível ( $H$ ) foram determinados, a cada 30 minutos, pelo método do balanço de energia razão de Bowen por meio das equações 2 e 3 (Lima *et al.*, 2011):

$$LE = \frac{(Rn - G)}{1 + \beta} \quad (2)$$

$$H = \frac{\beta}{1 + \beta} (Rn - G) \quad (3)$$

sendo  $\beta$  a razão de Bowen.

A razão de Bowen é obtida por meio das diferenças, a cada 30 minutos, na temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) do ar ( $\Delta T$ ) e na pressão de vapor (kPa) ( $\Delta e$ ), entre os níveis 1 ( $z_1 = 0,35$  m) e 2 ( $z_2 = 1,05$  m):

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

sendo  $\gamma$  a constante psicrométrica ( $0,066 \text{ kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

Para evitar possíveis erros na estimativa dos fluxos de calor latente, e conseqüentemente, na evapotranspiração, os valores da razão de Bowen menores que  $-0,75$  (Ortega-Farias *et al.*, 1996), bem como aqueles nos quais as medições dos gradientes de temperatura e de pressão de vapor foram menores que o limite da resolução dos sensores (Ohmura, 1982), foram eliminados e substituídos por interpolação dos valores, de cada 30 minutos, precedentes e subsequentes válidos.

A fração evaporativa (FE) foi determinada por meio da seguinte equação:

$$FE = \frac{LE}{R_n - G} \quad (5)$$

## 2.4 Índice de área foliar

Além dessas medidas, também se determinou o índice de área foliar, fazendo-se uma relação entre a área foliar de todas as folhas da planta e a área superficial do solo ocupado pela planta, de acordo com a equação:

$$IAF = \frac{AF}{AS} \quad (6)$$

onde: IAF = índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ ); AF = área foliar da planta ( $\text{m}^2$ ); AS = área superficial de solo ( $\text{m}^2$ ), determinada pelo espaçamento da cultura.

Para a estimativa da área foliar foi calibrado um modelo baseado nas medidas de comprimento e largura de folha, segundo a equação:

$$AF = C \times L \times f_c \quad (7)$$

em que: AF = área foliar (m<sup>2</sup>); C = comprimento da folha (m); L = largura da folha (m); e  $f_c$  = fator de correção. O fator de correção utilizado foi 0,51, obtido por Souza (2006).

O comprimento e a largura foliar foram determinados em todas as folhas de 10 plantas, distribuídas de modo a cobrir toda a área experimental. Essas medidas foram realizadas semanalmente com uma régua, sendo que no ano de 2004 o período de medição foi de 16/09 a 24/11/2004; em 2005 de 27/07 a 26/10/2005 e em 2007 de 07/06 a 20/10/2007.

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Precipitação pluvial, armazenamento de água no solo e índice de área foliar

Antes de se avaliar a variação sazonal dos fluxos de energia na cultura da mamona, durante os anos de 2004, 2005 e 2007, serão avaliadas variáveis relacionadas ao tempo atmosférico (precipitação pluvial), solo (armazenamento de água) e planta (índice de área foliar), que afetam esses fluxos de energia, e consequentemente, a evapotranspiração.

Na Figura 1 são apresentados os dados da precipitação pluvial durante os períodos de cultivo da mamona nos três anos de estudo.

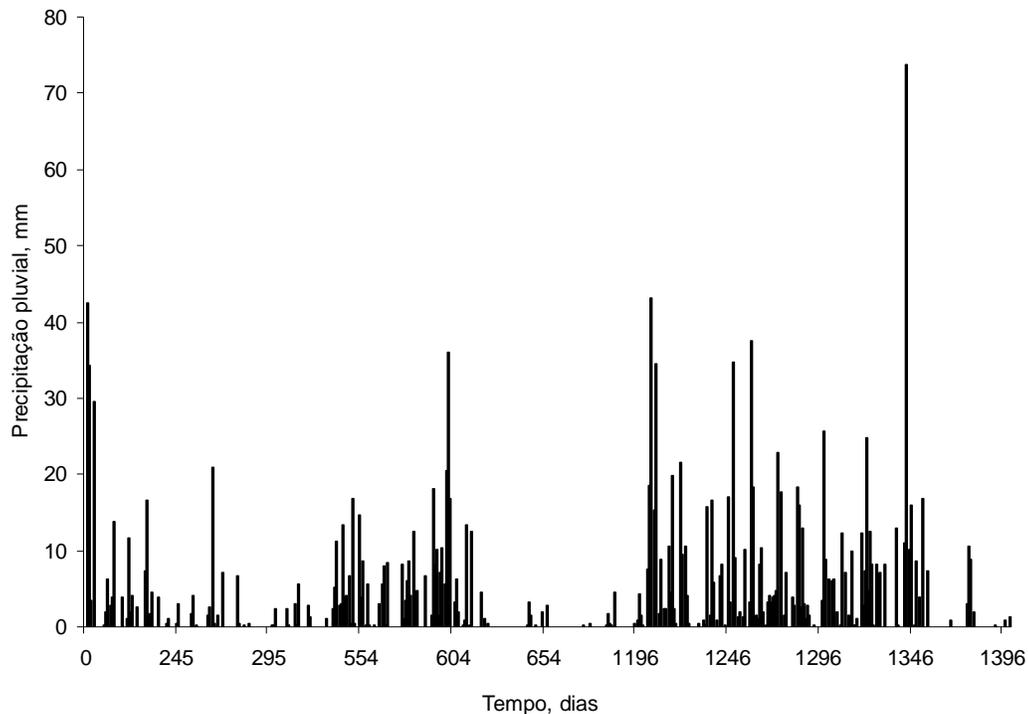


Figura 1 – Precipitação pluvial durante os períodos de 15/07 a 24/11/2004, de 22/06 a 11/11/2005 e de 19/03 a 02/11/2007 em Areia-PB. O eixo X representa os dias a partir de 01 de Janeiro de 2004

Observa-se que dos três anos estudados, o de 2007 foi o que apresentou maiores valores de precipitação pluvial (973,0 mm) durante o ciclo da mamona. 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. Em regiões que apresentam totais de precipitação inferiores a 500 mm no período chuvoso, a mamoneira perde grande parte da sua produção econômica,

acentuando-se os riscos de perda total de safras e/ ou a obtenção de rendimento muito baixo (Barros Júnior *et al.*, 2008). Desse modo, vê-se que o ano de 2004, com 272 mm, teve valores de precipitação pluvial bem abaixo dos considerados ideais para o cultivo da mamona.

O armazenamento de água no solo na camada de 0-1,60 m durante os períodos cultivados com a mamona é apresentado na Figura 2.

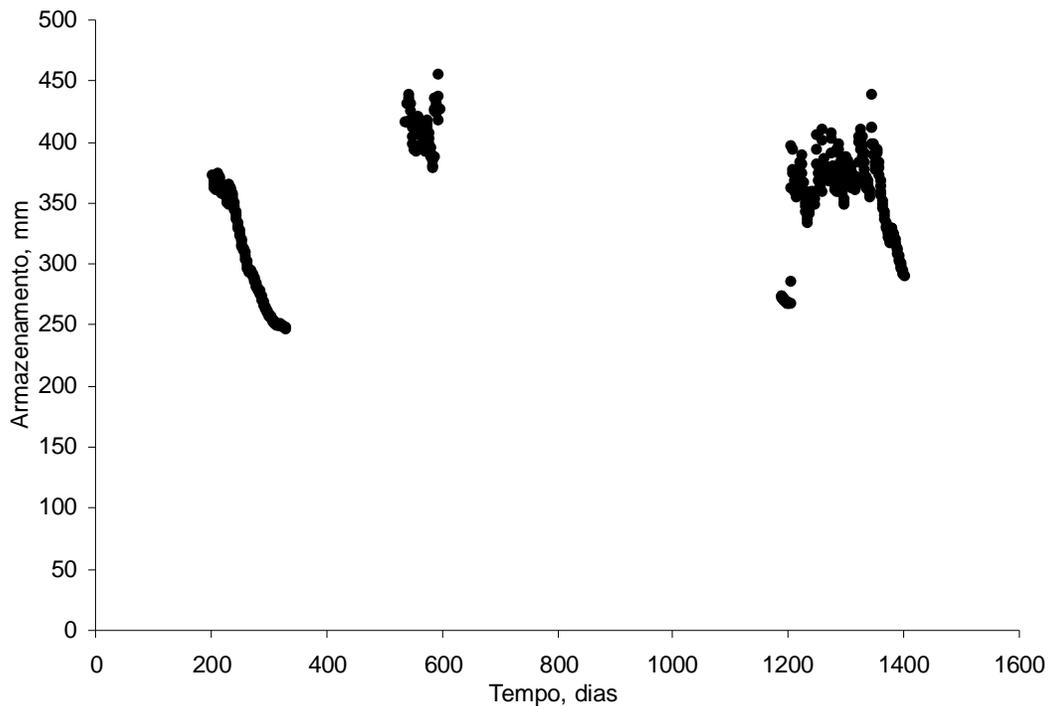


Figura 2 – Armazenamento de água (0-1,60 m) durante os períodos de 23/07 a 24/11/2004, de 22/06 a 19/08/2005 e de 04/04 a 02/11/2007 em Areia-PB. O eixo X representa os dias a partir de 01 de Janeiro de 2004

Em virtude dos menores volumes de precipitação, o armazenamento de água no solo no ano de 2004 foi bem inferior aos dos outros anos. No ano de 2004, ocorreu um decréscimo constante do armazenamento com o passar do tempo. Já nos anos de 2005 e 2007 o armazenamento de água no solo seguiu as variações da precipitação pluvial, sendo que no ano de 2007 a variação do armazenamento foi bem maior.

A evolução sazonal do índice de área foliar (IAF) da mamona é apresentada na Figura 3.

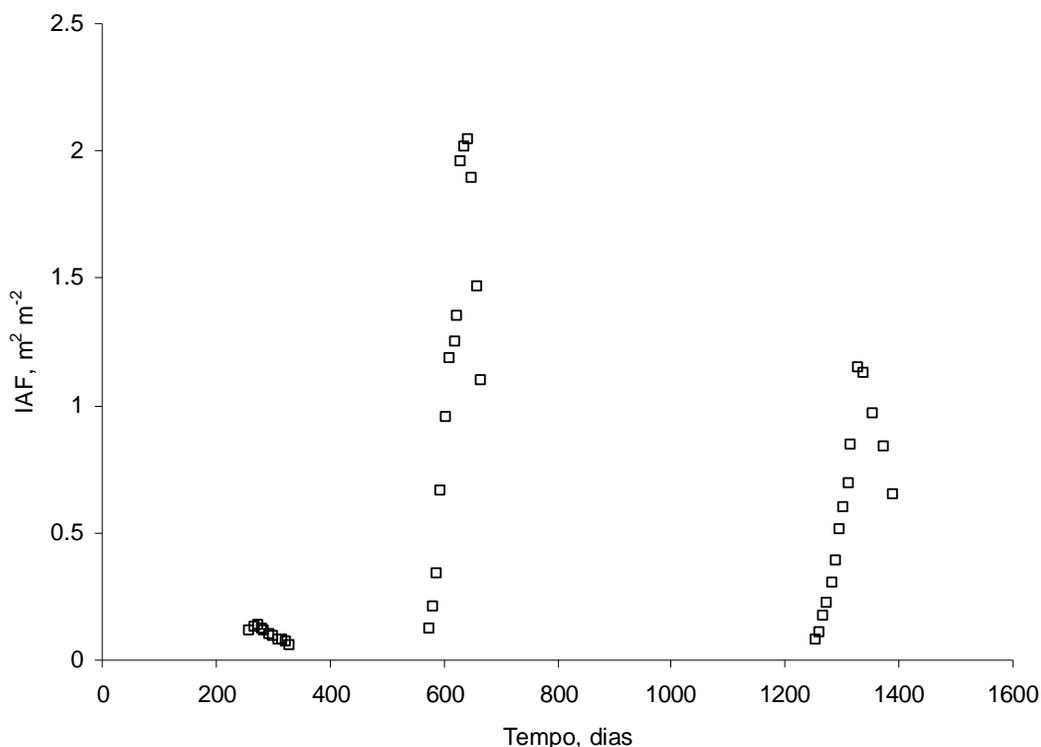


Figura 3 – Índice de área foliar (IAF) nos períodos de 16/09 a 24/11/2004, de 27/07 a 26/10/2005 e de 07/06 a 20/10/2007 em Areia-PB. O eixo X representa os dias a partir de 01 de Janeiro de 2004

Observa-se que no ano de 2004 o IAF apresentou valores muito baixos (valor máximo de  $0,14 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ), provavelmente, devido à pequena precipitação pluvial ocorrida (Figura 1) e menor armazenamento de água no solo (Figura 2). Em relação aos anos de 2005 e 2007, observa-se que, apesar das maiores precipitações ocorridas em 2007, o IAF em 2005 (valor médio de  $1,18 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ) foi superior ao de 2007 (valor médio de  $0,58 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ). Isto ocorreu, provavelmente, devido à adubação da mamoneira realizada em 2005, o que promoveu um maior crescimento e desenvolvimento da cultura, e, conseqüentemente, maiores valores de IAF.

A evolução diferenciada do IAF nos três anos de cultivo da mamona é devido ao fato do mesmo ser resultante das respostas ecofisiológicas das plantas às condições químicas, físicas e biológicas do solo e às condições do microclima (temperatura, umidade e radiação solar).

### 3.2 Fluxos de energia e fração evaporativa

A variação sazonal dos componentes do balanço de energia na cultura da mamona nos anos de 2004, 2005 e 2007 é apresentada na Figura 4. Os dados dessa figura representam valores médios diários integrados das 06:00 às 18:00 h.

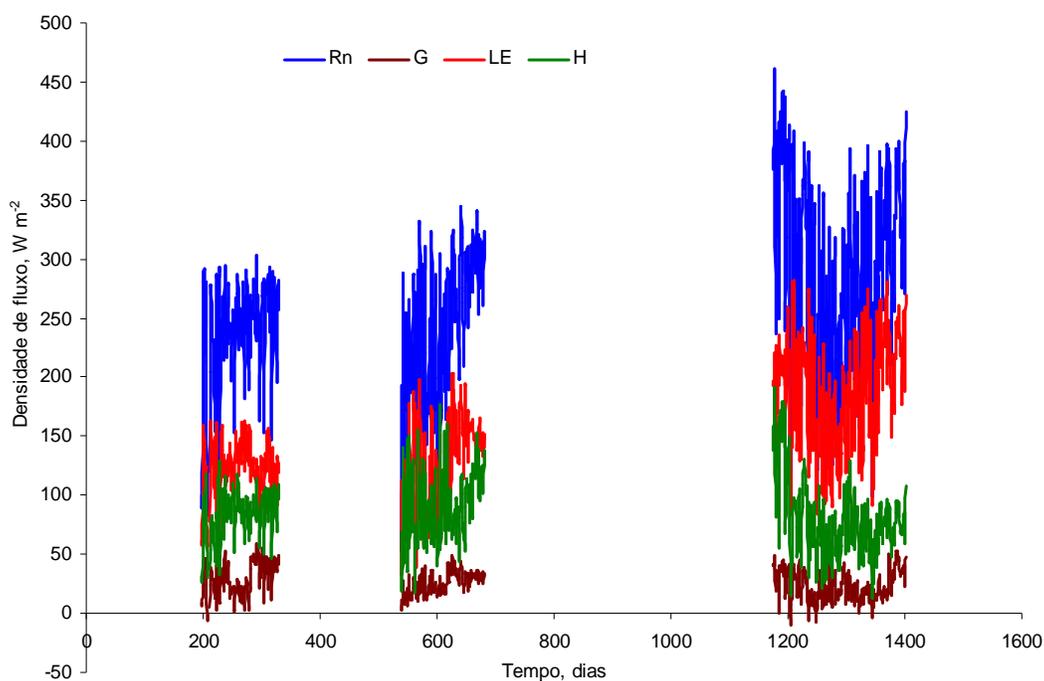


Figura 4 - Fluxos de energia (Rn, LE, H e G) em mamona durante os anos de 2004, 2005 e 2007. O eixo X representa os dias a partir de 01 de Janeiro de 2004

As mudanças no saldo de radiação (Rn) demonstram a bem conhecida curva seno, com os picos ocorrendo ao redor do meio-dia. Sazonalmente, os valores médios diários de Rn variaram de 53,2 a 461,7  $W m^{-2}$ , com valor médio de 264,1  $W m^{-2}$ . Os valores de Rn no ano de 2007 foram superiores aos dos anos de 2004 e 2005, variando de 90,7 a 461,7  $W m^{-2}$ . Avaliando a variação sazonal de Rn em três anos consecutivos, num campo irrigado cultivado com trigo e milho, Shen *et al.* (2004) encontraram que a Rn variou de 31,6 a 668,1  $W m^{-2}$ .

O curso do fluxo de calor no solo (G) não muda significativamente através dos anos. Durante os três anos, O G variou de -10,5 a 58,9  $W m^{-2}$ , com valor médio de 25,8  $W m^{-2}$ . Em 2004, o G apresenta valores médios (30,6  $W m^{-2}$ ) maiores do que os anos de 2005 (26  $W m^{-2}$ ) e 2007 (23  $W m^{-2}$ ), possivelmente, devido ao fato de que no ano de 2004 a mamona teve um menor crescimento, diminuindo desse modo, o IAF (ver Figura 3), fazendo que maior porção do saldo de radiação fosse utilizado como fluxo de calor no solo. Num campo irrigado cultivado com milho e trigo na China, Shen *et al.* (2004) encontraram que o G variou de -12,7 a 170,9  $W m^{-2}$ .

Em relação aos fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE), observa-se que o H nos anos de 2004 e 2005 teve valores mais elevados que no ano de 2007. Os valores médios de H foram 83,2, 91,1 e 79,9  $W m^{-2}$ , para os anos de 2004, 2005 e 2007, respectivamente. Para os três anos o H teve uma variação de 13,2 a 191,9  $W m^{-2}$ , e valor médio de 84  $W m^{-2}$ . Os valores médios diários de LE nos três anos tiveram uma grande variação, de 32,2 a 281,4  $W m^{-2}$ , com valor médio de 154,4  $W m^{-2}$ .

$\text{m}^{-2}$ . No ano de 2007 os valores de LE foram maiores que nos outros anos, variando de 85,1 a 281,4  $\text{W m}^{-2}$  e valor médio de 188,3  $\text{W m}^{-2}$ .

De acordo com Shen *et al.* (2004), que também encontraram uma grande variação de LE em milho e trigo na China, esta variação pode ter sido determinada pelas variáveis climáticas, tais como, radiação solar, temperatura, déficit de pressão de vapor. No entanto, nas condições dessa pesquisa outro fator que pode ter contribuído para essa variação do LE foi o armazenamento de água no solo, que, como pode ser visto da Figura 2, foi bem maior no ano de 2007 que no ano de 2004.

Observa-se, também, que o fluxo de calor sensível (H) esteve mais próximo do fluxo de calor latente (LE) nos anos de 2004 e 2005, enquanto que em 2007 o LE foi bem maior que o H. Como exemplo, em 2004 a razão LE/Rn foi de 53% e H/Rn de 35%, já em 2007 a razão LE/Rn foi de 67% e a de H/Rn foi de 25%. Esses resultados demonstram que no ano de 2007 maior porção de Rn foi usada como LE, isto é, foi utilizada para o processo de evapotranspiração.

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 (Lopes *et al.*, 2001; Pezzopane e Pedro Júnior, 2003; Lima *et al.*, 2005; Takagi *et al.*, 2009). Oliveira *et al.* (2009), trabalhando com mamona na mesma área experimental dessa pesquisa, encontraram valores médios de 52 e 38% para as razões LE/Rn e H/Rn, respectivamente.

A partição da energia disponível (Rn-G) pode ser avaliada analisando-se a fração evaporativa (FE), definida pela equação (5). Tendo em vista a FE ser uma razão do fluxo de calor latente a energia disponível (Rn-G), ela é geralmente utilizada para caracterizar a partição de energia sobre a superfície e tem o potencial de inferir informações do balanço diário de energia baseado em medições do meio-dia (Nichols e Cuenca, 1993). Uma das vantagens de se utilizar a FE é a sua aparente estabilidade durante as horas do dia (Shen *et al.*, 2004).

Na Figura 5 é mostrada a relação entre fração evaporativa (FE) e a razão de Bowen (RB) para os anos de 2004 e 2007. Observa-se que à medida que ocorre um aumento na FE ocorre um decréscimo da RB, demonstrando que a FE é uma função inversamente proporcional de  $1 + \beta$ . Esse comportamento da FE em função da RB também foi encontrado por Shen *et al.* (2004), num campo irrigado cultivado, por três anos seguidos, com milho e trigo na China.

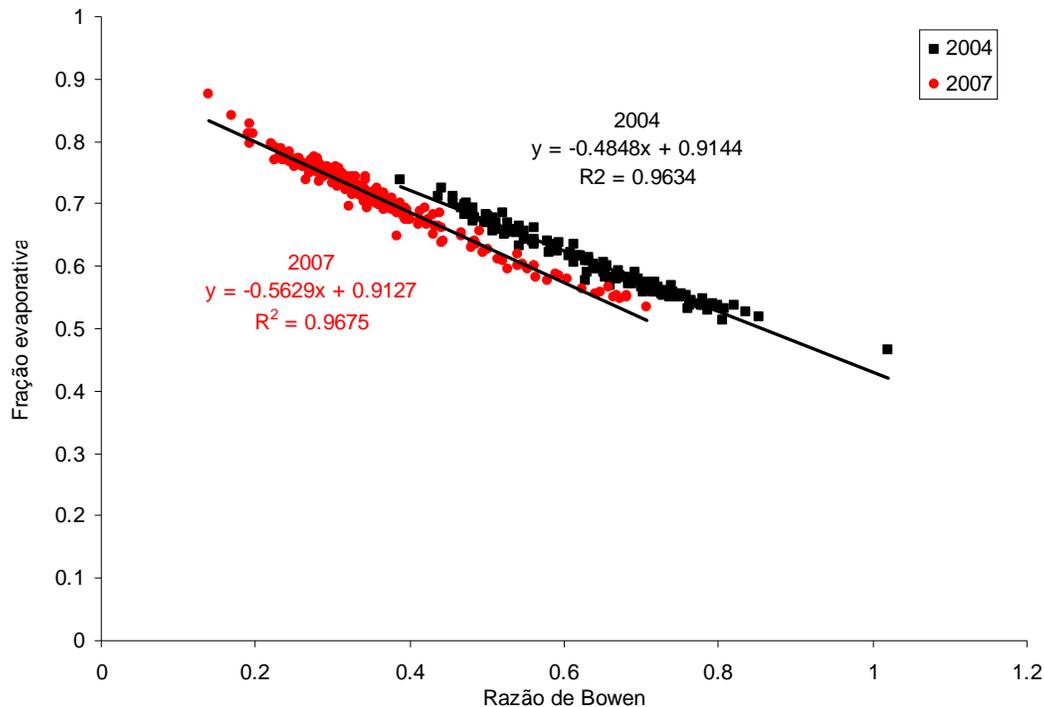


Figura 5 – Relação entre a razão de Bowen e a fração evaporativa para os anos de 2004 e 2007

#### 4 – CONCLUSÕES

Para as condições edafoclimáticas em que o trabalho foi realizado pode-se concluir que:

1. Os valores médios diários de saldo de radiação (Rn) variaram de 53,2 a 461,7 W m<sup>-2</sup>, com valor médio de 264,1 W m<sup>-2</sup>.
2. Os valores do fluxo de calor no solo (G) não mudam significativamente através dos anos, com valor médio de 25,8 W m<sup>-2</sup>.
3. Os fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE) foram influenciados pelas condições climáticas, índice de área foliar e armazenamento de água no solo; Em 2004 a razão LE/Rn foi de 53% e H/Rn de 35%, já em 2007 a razão LE/Rn foi de 67% e a de H/Rn foi de 25%.
5. Em média, para os três anos, o saldo de radiação (Rn) foi usado como 58, 32 e 10%, para os fluxos de calor latente (LE), sensível (H) e no solo (G), respectivamente.

#### 5 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado da Paraíba – FAPESQ (Termo de concessão 021/05, Edital 002/03 – FAPESQ/MCT/CNPq) pela concessão de recursos financeiros; e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (Processos N<sup>os</sup> 486128/2006-7; 151494/2007-0; 475772/2007-5), pela concessão de recursos

financeiros e de bolsa de Pós-Doutorado ao primeiro autor e de Produtividade em Pesquisa ao segundo autor.

## 6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M.O.; SOBRINHO, J.N.; CARVALHO, J.M.M. (2004). *Potential of castor bean as a source of raw material for biodiesel production in Northeast Brazil*. BNB, Fortaleza, CE, Brazil.

AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.; SILVA, V.P.R. (2003). “*Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil*”. *Agricultural Water Management* 58, pp.241-254.

AZEVEDO, P.V.; SOUZA, C.B.; SILVA, B.B.; SILVA, V.P.R. (2007). “*Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment, Brazil*”. *Agricultural Water Management* 88, pp.201-208.

BARROS JÚNIOR, G.; GUERRA, H.O.C.; CAVALCANTI, M.L.F.; LACERDA, R.D. (2008). “*Consumo de água e eficiência do uso para duas cultivares de mamona submetidas a estresse hídrico*”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12, pp.350-355

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2006). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2ª.ed. Rio de Janeiro, 306p.

KUSTAS, W.P.; PRUEGER, J.H.; HATFIELD, J.L.; RAMALINGAM, K.; HIPPS, L.E. (2000). “*Variability in soil heat flux from a mesquite dune site*”. *Agricultural and Forest Meteorology* 103, pp.249-264.

LIMA, J.R.S. *Balço hídrico e de energia em solo cultivado e sem vegetação, para as condições do Brejo Paraibano*. Recife, UFPE, 2004. 167p. Tese Doutorado.

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; LIRA, C.A.B.O.; SOUZA, E.S. SILVA, I.F. (2011). “*Balço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro*”. *Revista Ciência Agronômica* 42, pp.65-74.

LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOARES, W.A.; BORGES, E.; SILVA, I.F.; LIRA, C.A.B.O. (2005). “*Balço de energia em um solo cultivado com feijão caupi no Brejo Paraibano*”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 9, pp.527-534.

LOPES, P.M.O.; SILVA, B.B.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, V.P.R.; TEIXEIRA, A.H.C.; SOARES, J.M.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. (2001). “*Balço de energia num pomar de mangueiras irrigado*”. *Revista Brasileira de Agrometeorologia* 9, pp.1-8.

NICHOLS, W.E.; CUENCA, R.H. (1993). “*Evaluation of EF for parameterization of the surface energy balance*”. *Water Resources Research* 29, pp.3681–3690.

OHMURA, A. (1982). “*Objective criteria for rejecting data for Bowen ratio flux calculations*”. *Journal of Applied Meteorology* 21, pp.595-598.

OLIVEIRA, I.A.; LIMA, J.R.S.; SILVA, I.F.; ANTONINO, A.C.D.; GOUVEIA NETO, G.C.; LIRA, C.A.B.O. (2009). “*Balço de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no Brejo Paraibano*”. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 4, pp.185-191.

ORTEGA-FARIAS, S.O.; CUENCA, R.H.; EK, M. (1996). “*Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy*”. *Agricultural and Forest Meteorology* 81, pp.131-143.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JÚNIOR, M.J. (2003). “*Balço de energia em vinhedo de Niagara rosada*”. *Bragantia* 62, pp.155-161.

SHEN, Y.; ZHANG, Y.; KONDOH, A.; TANG, C.; CHEN, J.; XIAO, J.; SAKURA, Y.; LIU, C.; SUN, H. (2004). “*Seasonal variation of energy partitioning in irrigated lands*”. Hydrological Processes 18, pp.2223–2234.

SILVA, J.M.; LIMA, J.R.S.; GOUVEIA NETO, G.C.; SOUZA, C.; SILVA, I.F.; ANTONINO, A.C.D.; NÓBREGA, J.A. (2007). “*Balanço hídrico em mamona sob condições de sequeiro no Brejo Paraibano.*” Revista Educação Agrícola Superior 22, pp.57-59.

SOUZA, C. (2006). *Balanço hídrico num solo cultivado com mamona (Ricinus communis L.) no Brejo Paraibano.* CCA/UFPB, Areia - PB. 70p. Dissertação (Mestrado).

TAKAGI, K.; KIMURA, R.; ŞAYLAN, L. (2009). “*Variability of surface characteristics and energy flux patterns of sunn hemp (Crotalaria juncea L.) under well-watered conditions*”. Theoretical and Applied Climatology 96, pp.261-273.

TÁVORA, F.J.A. 1982. *Mamona.* Fortaleza, CE, Brazil.

TEIXEIRA, A.H.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.; SOARES, J.M. (1999). “*Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina-PE.*” Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 3, pp.327-330.

TEIXEIRA, A.H.C.; BASTIAANSEN, W.G.M.; MOURA, M.S.B.; SOARES, J.M.; AHMAD, M.D.; BOS, M.G. (2008). “*Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil*”. Agricultural and Forest Meteorology 148, pp.1524-1537.