

DISTRIBUIÇÃO DOS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA DO PANTANAL MATO-GROSSENSE

THIAGO RANGEL RODRIGUES¹, LEONE FRANCISCO AMORIM CURADO¹, JONATHAN WILLIAN ZANGESKI NOVAIS¹, ALLAN GONÇALVES DE OLIVEIRA¹, SÉRGIO ROBERTO DE PAULO¹, MARCELO SACARDI BIUDES¹ E JOSÉ DE SOUZA NOGUEIRA¹

Recebido em 31.08.2010 e aceito em 27.12.2011

¹ Programa de Pós Graduação em Física Ambiental do Instituto de Física da Universidade Federal de Mato Grosso, Av. Fernando Corrêa s/n, Cuiabá, MT- Brasil, CEP 78060-900. E-mail: thiagorangel@pgfa.ufmt.br

RESUMO: Pesquisas envolvendo o balanço de energia têm sido intensificadas a fim de que se conheça a variação ambiental dos elementos micrometeorológicos. No presente trabalho analisou a distribuição dos componentes do balanço de energia no Pantanal Mato-Grossense com a finalidade de contribuir para as pesquisas destinadas ao estudo das interações biosfera-atmosfera na região pantaneira. Os resultados obtidos mostraram que a maior parte da energia disponível é usada para evapotranspiração em forma de calor latente, uma parcela para o calor sensível e a menor parcela para o fluxo de calor no solo. Observou-se que houve variação dos componentes do balanço de energia entre os períodos estudados.

Termos para indexação: Evapotranspiração, calor sensível, fluxo de calor no solo, saldo de radiação

DISTRIBUTION OF ENERGY BALANCE COMPONENTS IN PANTANAL, BRAZIL

ABSTRACT: Researches involving the energy balance have been intensified in order to know the environmental variation of micrometeorological factors. This study analyzed the distribution of the components of energy balance in the Pantanal of Mato Grosso to contribute to research for the study of biosphere-atmosphere interactions in the Pantanal region. The results showed that most of the available energy is used for evapotranspiration in the form of latent heat, a portion for the sensible heat and lower portion for the soil heat flux. It was observed that there was a variation of the components of energy balance between the two periods.

Index terms: Evapotranspiration, sensible heat flux, soil heat flux, net radiation

INTRODUÇÃO

O Pantanal é caracterizado como a maior planície inundada da América do Sul, com cerca de 140.000 km², ocupando 1,6% do território brasileiro. Sua posição geográfica é peculiar, sendo o elo entre a Amazônia, o Cerrado e os Chacos Boliviano e Paraguai, considerados como um conjunto de vários ecossistemas que estão em processo de formação, isto é, de sedimentação (quaternária), proveniente dos rios da Bacia do Alto Paraguai (Nunes da Cunha & Junk, 2004).

Devido a esta vasta diversidade o pantanal possui características próprias, com períodos de cheias e períodos de seca que se alternam ao longo do ano permitindo a formação de estandes monodominantes devido ao frequente e prolongado período de inundação e à deficiente drenagem do solo local. No outro extremo a seca causa frequente estresse hídrico nas plantas locais, regulando sua

fenologia e a produção de biomassa. A elevada variação de formação vegetal, aliada à variação temporal dos elementos meteorológicos, contribui para variação nas trocas de energia entre a superfície e a atmosfera (Bellaver, 2010).

As atividades humanas baseadas na exploração dos recursos naturais disponíveis promovem alterações na paisagem e nos ecossistemas do planeta. As constatações atuais são de que as interferências sofridas pela natureza estão alterando as densidades de fluxo de matéria e energia entre os sistemas naturais, ocasionando alterações nos processos naturais do meio ambiente. Em países de clima tropical, como é o caso do Brasil, poderá haver redução de até 10% no potencial produtivo por conta da maior evaporação da água e do consequente estresse hídrico às plantas (Amado & Reinert, 1999).

Estudos de trocas de energia entre a superfície e a atmosfera são importantes para o conhecimento das interações entre as variáveis meteorológicas envolvidas nesses processos. A maior parcela do saldo de radiação (R_n) é transformado em fluxo de calor latente (LE) influenciando no ciclo hidrológico, no desenvolvimento da camada limite, no tempo e no clima. Quando ocorrem alterações na partição de energia entre o calor latente e o calor sensível afetam os fluxos da superfície e como resultado modificam o microclima (Foley et al., 2003). Desse modo, tornam-se necessários estudos dessas interações entre a superfície e a atmosfera, como é o caso da contribuição dos componentes do balanço de energia, que revela a energia resultante em um local, após todas as trocas radiantes, expressas em termos de ondas curtas e longas.

O balanço de radiação em superfícies vegetadas é de grande importância na determinação das perdas de água e na acumulação de matéria seca pelos vegetais, além de caracterizar o seu microclima. As medidas de saldo de radiação em comunidades vegetais possibilitam caracterizar os estados de conforto térmico, conforto hídrico e muitas reações biofísicas e bioquímicas (Borges, 2002).

A energia disponível ao meio, expressa a somatória do balanço de radiação de ondas curtas e ondas longas, ou seja, a radiação líquida disponível ao sistema que é utilizada na evaporação, no aquecimento do ar e no aquecimento do solo.

Devido à importância do Pantanal para a manutenção e a preservação dos ecossistemas espera-se que iniciativas com fins voltados para o estudo dessa região sejam contempladas para uma melhor compreensão desse bioma tão importante para a regularidade ambiental da região.

O objetivo deste estudo foi analisar a distribuição dos componentes do balanço de energia no período seco e chuvoso no Pantanal mato-grossense.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado numa área localizada na Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN SESC – Pantanal, município de Barão de Melgaço – MT, distante 160 km de Cuiabá – MT em

que estava instalada uma torre micrometeorológica de 32 m de altura, com as seguintes coordenadas geográficas: 16°39'50"S; 56°47'50"O e altitude de 120 m. Esta área apresenta vegetação monodominante de Cambará (*Vochysia divergens*, Phol), conhecido localmente como cambarazal, com altura do dossel variando entre 28 a 30 m.

Para esta pesquisa, utilizaram-se os dados coletados entre os meses de janeiro e setembro de 2008, sendo de janeiro a abril o período chuvoso e de junho a setembro o período seco (Biudes, 2008). O mês de maio não foi considerado por ser um período de transição entre os períodos. Os instrumentos utilizados para a coleta de dados foram programados para fazerem medidas a cada 15 minutos, sendo que foram feitas as médias diárias desses valores.

O saldo de radiação foi medido por meio de um saldo radiômetro (modelo Kipp & Zonen Delft, Inc.), e o fluxo de calor no solo medido com dois fluxímetros (modelo HFT-3.1, REBS, Inc.) instalados a 0,05 m e 0,25 m de profundidade. Os gradientes de temperatura e umidade do ar foram estimados por meio de dois termohigrômetros (modelo HMP 45 AC, Vaisala, Inc.) instalados a 33,7 e 37,7 m na torre micrometeorológica, de forma a obter um gradiente de temperatura e pressão de saturação de vapor de água.

Os equipamentos foram alimentados com tensão de 12 V por duas baterias de 150 Ah, carregadas por um painel solar de 64 W com regulador de tensão. Os dados produzidos por sinais e elétricos dos sensores utilizados foram processados e armazenados por um sistema de aquisição de dados a cada 15 minutos (modelo CR 10X, Campbell Scientific, Inc.).

A partir dos valores do fluxo de calor no solo, das medidas dos termohigrômetros e do saldo de radiação, procedeu-se o cálculo da razão de Bowen e do balanço de energia (Bowen, 1926), a partir dos valores médios dos últimos 15 minutos das variáveis medidas na torre micrometeorológica, para a determinação dos fluxos de calor sensível (H) e latente (LE).

O cálculo da energia disponível ao meio, o saldo de energia, é calculado a partir da soma das parcelas usadas para o aquecimento do solo, aquecimento do ar e para a evaporação, que matematicamente é expresso pela equação do balanço de energia:

$$R_n = G + H + LE \quad (\text{Equação 1})$$

O R_n é o saldo de radiação em ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) medido através do saldo radiômetro, G é o valor médio do fluxo de calor no solo em ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$) medido no fluxímetro, H é o fluxo de calor sensível e LE é o fluxo de calor latente ambos em ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$). Neste caso, como se pode observar, foi desconsiderada a contribuição da assimilação de energia pela vegetação, quer seja pelo estoque de energia em sua estrutura, quer seja pelo processo fotossintético.

$$H = -\rho K_s C_p \frac{dT}{dz} \quad (\text{Equação 2})$$

$$LE = -\rho K_w \frac{C_p de}{\gamma dz} \quad (\text{Equação 3})$$

Os coeficientes de difusividade turbulenta do calor sensível e latente, K_s e K_w , eram dificilmente difíceis de serem obtidos. Então Bowen (1926) estabeleceu a equação 4 se utilizando da condição que K_s e K_w são iguais.

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (\text{Equação 4})$$

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (\text{Equação 5})$$

Em que β é a razão de Bowen, γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), Δt é a diferença de temperatura (t , $^\circ\text{C}$) entre dois níveis considerados no cálculo no perfil atmosférico e Δe é a diferença na tensão atual de vapor atmosférico (e , kPa), calculada segundo a equação 8, para os mesmos níveis considerados para Δt .

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

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

$$UR = \frac{e}{e_s} \cdot 100 \quad (\text{Equação 8})$$

Em que UR é a umidade relativa do ar (%) e e_s representa a tensão de saturação (kPa), para temperaturas do ar acima de $0,0^\circ\text{C}$ (Vianello & Alves, 1991).

$$e_s = 0,61078 \cdot 10^{\frac{(7,5 \cdot t)}{(237,3 + t)}} \quad (\text{Equação 9})$$

Para este estudo foram feitas médias diárias do saldo de radiação, fluxo de calor latente, sensível e calor no solo em cada período, de modo a analisar a variação dos componentes do balanço de energia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição sazonal da energia disponível

Os valores médios do balanço de radiação e os componentes do balanço de energia, foram comparados no período chuvoso e seco (Figura 1).

Observou-se na Figura 1 que a partir do início de maio, dia 121, a energia disponível ao meio diminui, seguindo a tendência da radiação global, onde o período seco coincide com o inverno no hemisfério sul, período que recebe menos radiação, justificando a consideração do mês de maio como transição entre períodos, e o mês de junho como início do período seco.

Em ambos períodos a maior parte da energia disponível (R_n) foi consumida para a evapotranspiração em forma de calor latente, aproximadamente 93,16% no período chuvoso e 89,37% no período seco, logo a partição do calor latente permanece relativamente constante em relação ao total de energia (R_n), porém devido a uma maior disponibilidade de energia e água no

período chuvoso, houve uma maior quantidade de água evapotranspirada nesse período, que evidencia uma sazonalidade, estando em conformidade com estudos realizados em áreas de floresta úmida por Arruda et. al. (2006), que observou que a maior parcela de Rn foi destinada para evapotranspiração.

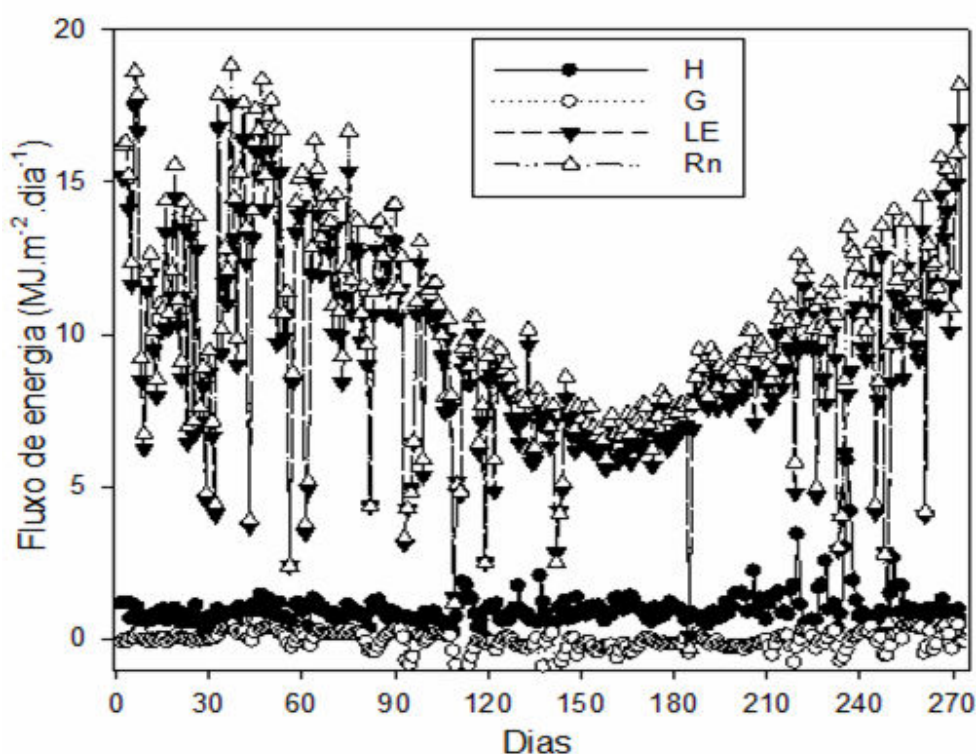


FIGURA 1. Distribuição anual das médias diárias dos componentes do balanço de energia.

Uma vez que a porcentagem da partição do calor latente manteve-se em ambos os períodos, nota-se que a floresta de Cambará (*Vochysia Divergens* Pohl) manteve um nível alto de umidade mesmo no período seco, devido a altura de seu dossel e a homogeneidade da floresta, característica de floresta tropical. O Cambará é original da região Amazônica e apresenta características ecológicas e fisiológicas, tais como tolerância ao alagamento, altas taxas de crescimento e grande produção de sementes facilmente dispersadas pelo vento e pela água, as quais favorecem sua rápida colonização e dominância em campos sazonalmente inundados (Arieira & Nunes da Cunha, 2006; Santos et al., 2006; Antunes Junior et al., 2011).

Já o calor sensível variou consideravelmente de 6,74% no período chuvoso para 12,73% no período seco, já que houve menor disponibilidade de água neste período, consequentemente uma menor parcela da energia disponível destinada a evapotranspiração, contribuindo para o aumento do fluxo de calor sensível.

Quanto ao fluxo de calor no solo, variou de 0,09% no período chuvoso e -0,26% no período seco, o que mostra uma perda de energia maior do que a absorvida pelo solo. Esse valor negativo indica que o solo em média cedeu mais energia para o aquecimento da atmosfera.

Variação sazonal dos componentes do balanço de energia

O balanço de energia e seus componentes variaram sazonalmente durante o período estudado, conforme Tabela 1.

TABELA 1. Valores máximos, mínimos e médios do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e do fluxo de calor no solo (G) para a estação chuvosa e seca em MJ.m⁻².dia⁻¹ no Pantanal mato-grossense.

Estação Chuvosa				
	Rn (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	LE (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	H (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	G (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)
<i>Máx</i>	18,81	17,73	1,53	0,54
<i>Mín</i>	2,31	2,43	0,12	-0,85
<i>Média</i>	11,80	10,95	0,79	0,07
Estação Seca				
	Rn (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	LE (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	H (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)	G (MJ.m ⁻² .dia ⁻¹)
<i>Máx</i>	13,51	11,57	5,87	0,33
<i>Mín</i>	3,01	2,92	0,33	-0,90
<i>Média</i>	8,36	7,45	1,09	-0,18

O valor médio do saldo de radiação foi aproximadamente 29,15% maior na estação chuvosa do que na seca, o que segue a tendência da radiação global, que é maior na estação chuvosa devido à posição geográfica do local, conforme observado na Figura 2.

O mesmo padrão foi observado com o valor médio do fluxo de calor latente, que foi aproximadamente 30,62% maior na estação chuvosa, isso devido ao maior teor de água existente na atmosfera, implicando numa maior quantidade de energia direcionada a evaporação no sistema, ou seja, um aumento de aproximadamente 30% no balanço de energia é compensado por um aumento do teor de água na atmosfera que implica num maior consumo da energia disponível, em forma de calor latente, na mesma estação, como mostra a Figura 3.

Observou-se ainda, que de acordo com os valores de calor latente (Figura 3), houve uma considerável variação da evaporação, indicando que o Pantanal apresenta elevada variabilidade sazonal, o que não ocorre em florestas tropicais, onde há baixa variabilidade sazonal segundo Araújo et al. (2002) e Rocha et al. (2004).

Os resultados de fluxo de calor latente obtidos no Pantanal apresentaram comportamento semelhante a outros ecossistemas já estudados, com uma maior fração na estação úmida, o que condiz com os trabalhos para florestas tropicais úmidas (Vourlitis et al., 2002; Priante Filho et al., 2004; Andrade et al., 2009).

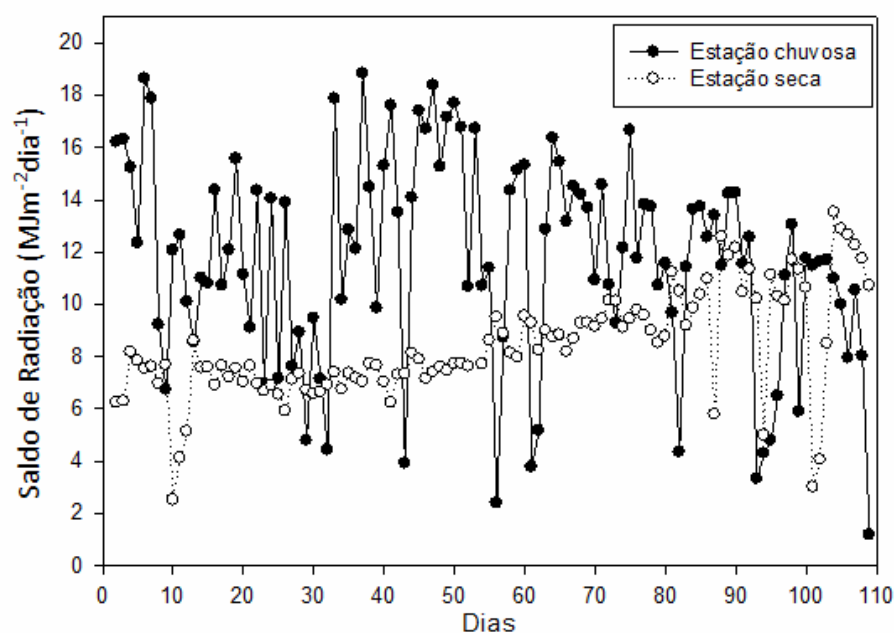


FIGURA 2. Distribuição do saldo de radiação para a estação chuvosa e seca no Pantanal mato-grossense.

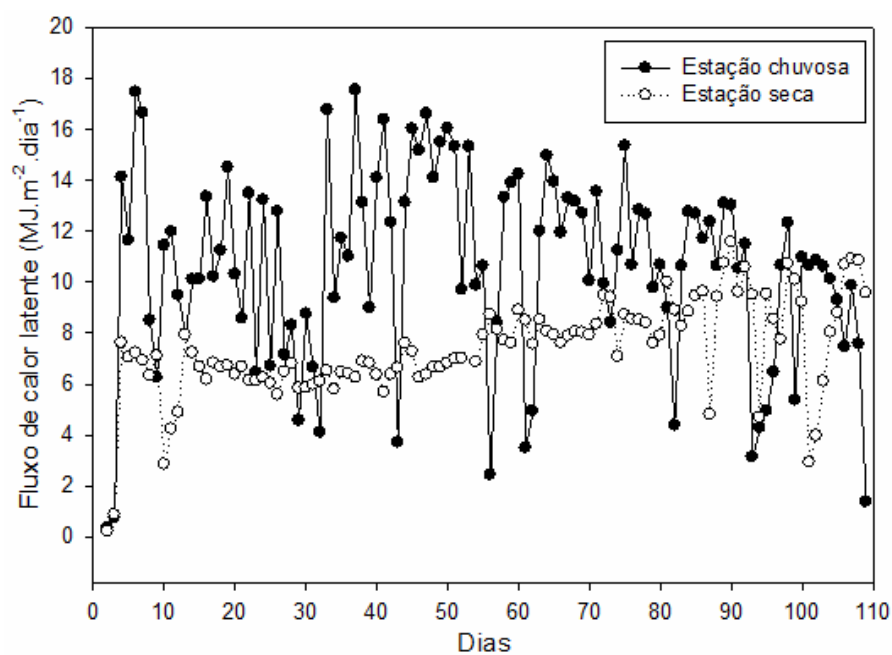


FIGURA 3. Distribuição do fluxo de calor latente para a estação chuvosa e seca no Pantanal mato-grossense.

O valor médio de calor sensível mostrou uma elevada variabilidade percentual em relação à energia disponível entre as estações (6,74% na chuvosa e 12,86% na seca), ou seja, um

aumento 90,80% para estação seca, o que indica que nessa estação há um maior desprendimento de energia para o aquecimento do ar atmosférico do que na estação úmida para o Pantanal, o que pode ser decorrente da menor disponibilidade de água na atmosfera para a estação, conforme a Figura 4.

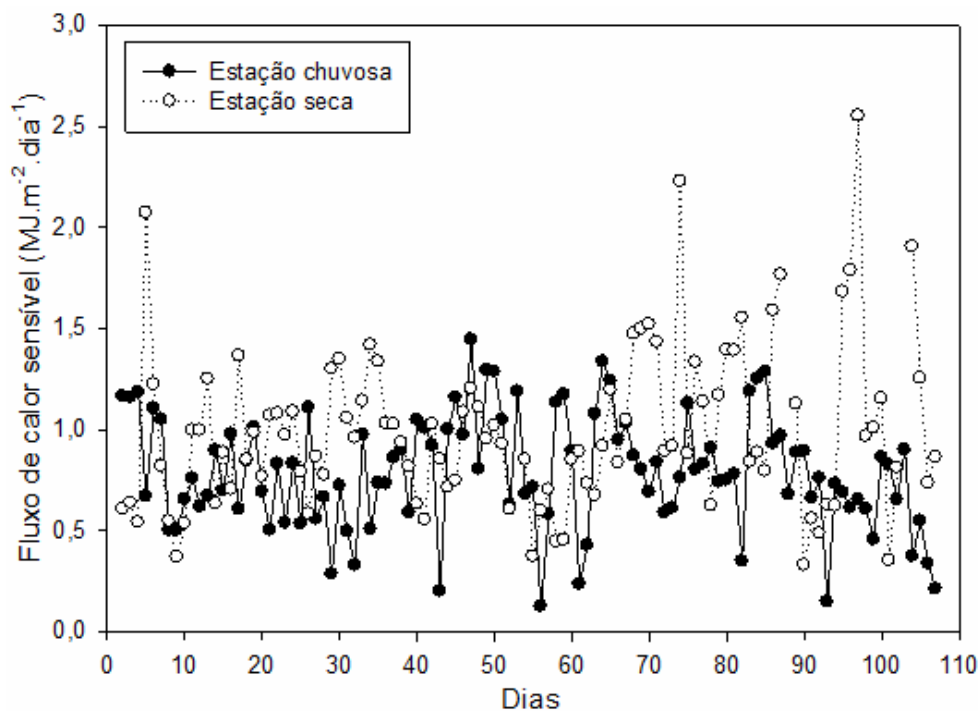


FIGURA 2. Distribuição do fluxo de calor sensível para a estação chuvosa e seca no Pantanal mato-grossense.

Quanto ao fluxo de calor no solo, Figura 5, em ambas as estações teve a menor contribuição para o balanço de energia em relação aos outros componentes, fluxo de calor latente e sensível, Figuras 2 e 3, respectivamente.

Este resultado está de acordo com o trabalho de Falge et al. (2001) que prevê uma contribuição irrisória do fluxo do calor no solo para o balanço de energia, já que a maior parte da energia estocada durante o dia é perdida durante a noite.

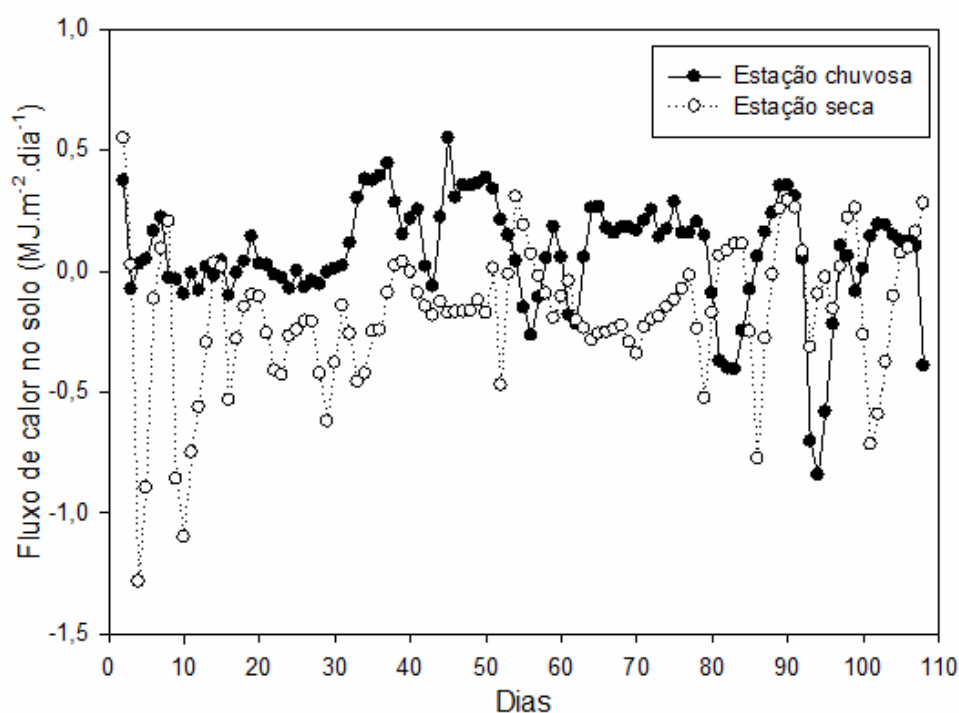


FIGURA 3. Distribuição do fluxo de calor no solo para a estação chuvosa e seca no Pantanal mato-grossense.

CONCLUSÃO

Os valores obtidos para o balanço de energia e seus componentes revelaram uma elevada variação sazonal, onde o período chuvoso apresentou os maiores valores de fluxo de energia. A energia destinada a evapotranspiração foi maior em ambos períodos do ano de 2008, sendo maior no período chuvoso, apresentando sazonalidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e ao Programa de Pós Graduação em Física Ambiental (PPGFA) da Universidade Federal de Mato Grosso pelo incentivo a pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J. Qualidade ambiental e plantio direto na 10ª ISCO. **Revista Plantio Direto**, n.52, p.34-35, 1999.
- ANDRADE, N.L.R.; AGUIAR, R.G.; SANCHES, L.; ALVES, EDINA C.R.F.; NOGUEIRA, J.S. Partição do saldo de radiação em áreas de floresta amazônica e floresta de transição amazônia-cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, p.346-355, 2009.

ANTUNES JÚNIOR, M.Z.; LOBO, F. de A.; DALMAGRO, H.J.; VOURLITIS, G.L.; ORTÍZ, C.E.R.; DALMOLIN, A.C.; LUCENA, I.C.; SULI, G.S. Efeito do microclima no intercâmbio gasoso de cambará (*Vochysia divergens* Pohl) e lixeira (*Curatella americana* L.) em área de Cerrado. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 9, p.77-85, 2011.

ARAÚJO, A.C.; NOBRE, A.D.; KRUIJT, B.; ELBERS, J.A.; DALLAROSA, R.; STEFANI, P.; RANDOW, C.; MANZI, A.O.; CULF, A.D.; GASH, J.H.C.; VALENTINI, R.; KABAT, P. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. **Journal of Geophysical Research**, v.107, p.1-20, 2002.

ARIEIRA, J.; CUNHA, C.N. Fitossociologia de uma floresta inundável monodominante de *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae), no Pantanal Norte, MT, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v.20, n.3, p.569-580, 2006.

ARRUDA, J.C.; JORGE, A.; PRIANTE FILHO, N.; NOGUEIRA, J.S.; ALMEIDA FILHO, E.Q.; CAMPELO JÚNIOR, J.H.; VOURLITIS, G.L. Aplicação de três metodologias para estimar o fluxo de calor latente em floresta de transição. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3, p.21-28, 2006.

BELLAVER, V. **Difusividade térmica do solo em área monodominante de cambará no norte do Pantanal Matogrossense**. 2010. 54 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso. 2010.

BIUDES, M.S. **Balço de Energia em área de vegetação monodominante de Cambará e pastagem no norte do Pantanal**. 2008. 142 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, 2008.

BORGES, P.F. **Crescimento, desenvolvimento e balanço de radiação do algodoeiro herbáceo BRS-201 em condições irrigadas**. 2002. 99f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande. 2002.

BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conductions and by evaporation from any water surface. **Physical Review Serial**, v.2, p.779-787, 1926.

FALGE, E.; BALDOCCHI, D.; OLSON, R. J.; ANTHONI P.; AUBINET, M.; BERNHOFER, C.; BURBA, G.; CEULEMANS, R.; CLEMENT, R.; DOLMAN, H.; GRANIER, A.; GROSS, P.; GRÜNWARD, T.; HOLLINGER, D.; JENSEN, N. O.; KATUL, G.; KERONEN, P.; KOWALSKI, A.; TA LAI, C.; LAW, B.E.; MEYERS, T.; MONCRIEFF, J.; MOORS, E.; MUNGER, J.W.; PILEGAARD, K.; RANNIK, Ü.; REBMANN, C.; SUYKER, A.; TENHUNEN, J.; TU, K.; VERMA, S.; VESALA, T.; WILSON, K.; WOFSY, S. Gap filling strategies for long term energy flux data sets. **Agricultural Forest Meteorology**, v.107, p.71-77, 2001.

FOLEY, J. A.; COSTA, M. H.; DELIRE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. **Frontier Ecology Environment**, v.1, n.1, p.38-44, 2003.

NUNES da CUNHA, C.; JUNK, W.J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal glassland. **Applied Vegetation Science**, v.7, p.103-110, 2004.

PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G.L.; HAYASHI, M.M.S.; NOGUEIRA, J.S.; CAMPELO JR, J.H.; NUNES, P.C.; SANCHES, L.; COUTO, E.G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J.L.; MIRANDA, E.J.; PRIANTE, P.C.; PEREIRA, L.C.; BIUDES, M.S.; FRITZEN, C.L.; LACERDA, M.; SULI, G.S.; SHIRAIWA, S.; SILVEIRA, M. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition. **Global Change Biology**, v. 10, p. 863-876, 2004.

ROCHA, H. R.; GOLDEN, M. L.; MILLER, S. D.; MENTON, M. C.; PINTO, L. D.V. O.; FREITAS, H.C.; FIGUEIRA, A. M. S. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical Forest in eastern Amazônia. **Ecological Applications**, v. 14, p.S22-S32, 2004.

SANTOS, S.A.; NUNES DA CUNHA, C.; TOMÁS, W.; ABREU, U.G.P.; ARIEIRA, J. **Plantas invasoras no Pantanal: como entender o problema e soluções de manejo por meio de diagnóstico participativo**. Corumbá: Embrapa Pantanal. 45 p. 2006.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 449 p. 1991.

VOURLITIS, G.L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M.M.S.; NOGUEIRA, J.S.; CASEIRO, F.T.; CAMPELO Jr., J.H. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. **Water Resources Research**, v.38, 2002.

★★★★★