

ESTUDO DA PARTIÇÃO DE ENERGIA SOBRE TERRENOS COMPLEXOS COBERTOS COM LÂMINA D'ÁGUA EM SETOR DO PANTANAL SULMATOGROSSENSE

Ralf Gielow¹, Atila Madureira Bueno², Wellington Oliveira Pinto³,
Regina Célia dos Santos Alvalá¹, Antônio Ocimar Manzi⁴

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE/DCM, C. P. 515, 12201-970 São José dos Campos, SP - ralf@met.inpe.br, regina@met.inpe.br

2 Centro Técnico Aeroespacial, CTA/ITA/ELE, São José dos Campos, SP - atila@ele.ita.cta.br

3 Universidade Braz Cubas, Engenharia da Computação, Mogi das Cruzes, SP - welling@met.inpe.br

4 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE/CPTEC, Rod. Dutra km 40, 12630-000 Cachoeira Paulista, SP - manzi@cptec.inpe.br

ABSTRACT

The partition of energy in Passo do Lontra, MS, 19°33'48,2"S; 57°00'53,8"W, in the flooded Pantanal Sulmatogrossense, is modeled considering the advective transport of sensible and latent heats, resulting in a better agreement with the values measured for all fluxes, than that one obtained without advection.

Palavras-chave: partição de energia, advecção, pantanal

1. INTRODUÇÃO

O estudo do tempo e do clima em terrenos complexos depende do entendimento dos processos que governam trocas de momentum, de calor e de massa entre a superfície e a atmosfera, pois são as trocas gasosas e de energia entre a atmosfera e os dosséis vegetais que regulam o microclima da região em que as plantas crescem.

O entendimento dos mecanismos destas trocas é relevante às questões concernentes aos balanços locais de radiação. Santos Alvalá (1993) desenvolveu um modelo não linear para a partição de energia com base na solução iterativa da equação do balanço de energia para determinação da temperatura da superfície (interface solo-atmosfera), em dias sem precipitação pluviométrica, sobre áreas de pastagens e sobre o dossel de florestas.

Este trabalho apresenta a adaptação do modelo de Santos Alvalá (1993) para a determinação da temperatura T_s na interface lâmina de água - atmosfera, na época inundada no Pantanal Sulmatogrossense, com a inclusão da advecção dos calores sensível e latente, para subsequente determinação da partição de energia, conforme detalhado em Bueno (1999) e Pinto (2000). À advecção atribui-se a diferença (resíduo) observada entre o saldo de radiação e a soma entre os diversos componentes da partição da energia efetivamente medidos (Philip, 1959; Desjardins et al., 1997).

O modelo é aplicado a setor do Pantanal Sulmatogrossense (19°33'48,2"S; 57°00'53,8"W), próximo à Base de Estudos do Pantanal da UFMS, em Passo do Lontra, MS. O Pantanal, à qual esta região pertence, é de grande importância meteorológica, ecológica e econômica, possuindo vegetação heterogênea e esparsa, semelhante a uma savana, com o solo recoberto por gramíneas e existindo árvores isoladas distantes umas das outras, além de "ilhas" de vegetação mais densa, sendo ela inundada durante um período do ano, o que constitui uma situação mais complexa, de grande variação sazonal.

O modelo tem como dados de entrada medidas do fluxo de radiação solar global, da velocidade do vento, das temperaturas do ar e da lâmina de água, da umidade do ar, mais a diferença entre o saldo de radiação e os fluxos de calores sensível, latente e na lâmina de água, medidos, além de propriedades físicas e fotométricas do solo e do dossel, como as resistências estomáticas máximas e mínimas da cobertura vegetal.

Os dados observacionais de entrada do modelo foram obtidos durante a campanha IPE-1, realizada em maio de 1998 no local acima citado, por equipe inter-institucional INPE/UFMS, e são referentes aos dias julianos 140, 141, 142 e 143, final da estação das cheias.

2. MODELO

Os fluxos de calor sobre uma cobertura vegetal inundada satisfazem a equação de balanço de energia, expressa por:

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

onde R_n é o saldo de radiação; H e LE os fluxos de calor sensível e latente, respectivamente; G o fluxo de calor na lâmina de água; S a variação do armazenamento de energia na biomassa e na camada superior da lâmina da água; P a energia usada para processos tais como a fotossíntese e demais processos metabólicos nas plantas; e ADV o fluxo advectivo de calores sensível e latente. P e S usualmente são pequenos em relação aos demais componentes em situações como a do Pantanal Sulmatogrossense e, portanto, desprezados, exceto se houver espessura de água substancial acima do nível dentro da lâmina da água usado como referência para a determinação do fluxo de calor nesta. Cumpre lembrar que a presente adaptação deve-se ao fato de não haver no projeto IPE-1 medidas de temperatura dentro do solo. Caso estas existam, então G passa a ser o fluxo de calor no solo e S a taxa de acumulação de calor na lâmina de água que o cobre, e T_s a temperatura da interface solo-água.

Neste modelo, como entre os dados obtidos durante a campanha IPE-1 não há medidas de temperatura no solo, mas sim, em dois níveis no interior da lâmina d'água e mostrando estratificação 24 horas por dia, a temperatura na superfície T_s corresponde à da interface lâmina d'água-ar, enquanto a componente sub-atmosférica da partição do saldo de radiação G é o fluxo de calor na lâmina d'água.

Por outro lado, as características da região durante a coleta de dados, como seja, área plana com gramíneas naturais e faixas de paratudos (*Tabebuia caraiba*) à distância, em competição com plantas aquáticas flutuantes ou com raízes (Santos Alvalá et al., 1998), fez com que se adaptasse a versão para pastagem do modelo de Santos Alvalá (1993), utilizando-se as parametrizações deste modelo para R_n e para os demais componentes da Equação 1, exceto G e ADV . Este último termo não foi parametrizado, sendo igual à diferença entre R_n medido e a soma de H , LE , S e G medidos. G medido é obtido pela lei de Fourier, aplicada entre dois níveis de medida de temperatura no interior da lâmina de água que cobre o solo, enquanto S medido é igual à taxa de armazenamento de calor na lâmina de água na camada entre a superfície livre da lâmina de água e o nível de medida da temperatura dela mais próximo a esta superfície livre.

Finalmente, substituindo todos os componentes da Equação 1 por suas respectivas expressões, e considerando T_s , a temperatura na interface lâmina de água - atmosfera como a variável de fechamento do balanço de energia, obtém-se

$$aT_s^4 + bT_s + c = 0 \quad (2)$$

onde a , b e c são funções dos parâmetros e variáveis envolvidos, estando os termos ADV e S inclusos no coeficiente c , com sinal negativo.

Implementaram-se duas versões do modelo, como sejam, (i) sem a incorporação de ADV e S , detalhada por Bueno (1999) e (ii) com a incorporação dos termos excluídos em (i), detalhada por Pinto (2000).

Dentre as raízes da Equação 2, obtidas com o aplicativo MATLAB, apenas uma é fisicamente viável. Para cada versão, este valor de T_s , determinado de 10 em 10 minutos nas 24 horas de cada dia considerado, é então substituído nas expressões para R_n , H , LE e G , obtendo-se assim os seus valores simulados, os quais são comparados com os efetivamente medidos.

Antes de continuar, seguem-se considerações sobre a distribuição da temperatura e o fluxo de calor na lâmina de água medidos em Passo do Lontra.

2.1 Fluxo de calor na lâmina de água

O transporte de calor G em lâmina de água parada, como a encontrada em Passo do Lontra na campanha IPE-1, a partir do nascer do sol, em dias sem nuvens, ocorre por condução da interface ar-lâmina de água, para o interior da água com valores crescentes (dependendo da taxa de turbidez da água); assim a temperatura estratifica-se continuamente com a profundidade até um tempo após o meio-dia solar, quando este fluxo positivo se anula, passando então a lâmina a ceder calor para a atmosfera (fluxo negativo).

O processo usualmente prossegue, a partir da interface com a atmosfera, com a formação uma camada bem misturada de água, cuja profundidade aumenta com o tempo (Jacobs et al, 1997) e, em razão da convecção natural resultante do esfriamento da interface; este resfriamento aumenta a massa específica das lâminas superficiais, causando o seu afundamento e conseqüente homogeneização da temperatura com a das lâminas inferiores mais quentes, prosseguindo até o nascer do sol seguinte. Entretanto, caso haja gradientes de massa específica na lâmina, causados, por exemplo, por gradientes de material dissolvido na água (piscina térmica), pode haver inversão do perfil de temperatura sem o estabelecimento de convecção natural, continuando assim o modo condutivo de transporte de calor.

Os dados utilizados, obtidos nos dias 140 a 143 (20 a 23 de maio de 1998) da campanha IPE-1, com lâmina de água inferior a 10 cm, apresentam claramente este segundo comportamento (Figura 2) por razões que deverão ser investigadas em próxima campanha. Presentemente, as únicas informações que se têm são que a água estava límpida (sem turbidez) e o fundo (superfície do solo) era bem escuro, sendo que o entorno onde foram feitas as medidas expunha bastante a lâmina de água, na qual havia poucas gramíneas e plantas aquáticas. Em adição, medidas realizadas no mesmo local entre os dias 135 e 142 de 2000, com a lâmina de água entre 10 e 20 cm, também mostram a inversão de temperatura mencionada. Deste modo, mesmo com a falta de medidas de temperatura no solo submerso, pôde-se determinar G , aplicando a Lei de Fourier entre dois níveis dentro da lâmina de água.

3. DADOS OBSERVACIONAIS DIRETOS E DERIVADOS, E PARÂMETROS

Os dados utilizados foram obtidos durante a campanha IPE-1 (Tabela 1), realizada na fase final de inundação, conforme descrito por Santos Alvalá et al (1998). Correspondem aos dias 20 a 23 de maio 1998 (dias julianos 140 a 143, de 10 em 10 minutos), e foram medidos na torre micrometeorológica de 21 m (coordenadas: 19°33'48"S e 57°00'53"W), localizada cerca de 1,5 km da Base de Estudos do Pantanal da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul - UFMS.

Tabela 1 - Dados e respectivas alturas de medidas coletados em Passo do Lontra.

Nível	Dados
25 m	H turbulento LE turbulento
11,12 m	Pressão atmosférica
4 m	Radiação solar incidente Radiação solar refletida Albedo R_n
3,75 m	Vento Temperatura de bulbo seco Temperatura de bulbo úmido Umidade do ar
Interface ar-lâmina d'água	Nível da lâmina de água sobre o solo
6 cm acima do solo	Temperatura da água
0,5 cm acima do solo	Temperatura da água

Os dados medidos diretamente foram fornecidos pela equipe do projeto IPE-1. Os derivados H e LE turbulentos foram computados pelo método das covariâncias (Marques F^o., 1999, p.43-46) e gentilmente cedidos por Edson Pereira Marques Filho, enquanto os demais foram computados como parte deste trabalho, conforme mostra Pinto (2000).

Os parâmetros utilizados nas simulações são mostrados na Tabela 2, enquanto na Figura 1 encontram-se as medidas de radiação solar incidente e refletida, e o albedo resultante. A Figura 2 mostra a estratificação da temperatura na lâmina de água.

Tabela 2 - Propriedades físicas e fotométricas da região de Passo do Lontra - MS (torre micrometeorológica)

Parâmetros	Valor
Constante C	1,8 s ^{1/2} m ⁻¹
Deslocamento plano zero	0,17 m
Diâmetro das folhas do dossel	0,01 m
Emissividade	0,9
Condutibilidade térmica da água	0,57 W m ⁻¹ K ⁻¹
Resistência estomática máxima	700 s m ⁻¹
Resistência estomática mínima	150 s m ⁻¹
Altura dos instrumentos	4 m
Altura da vegetação	0,28 m
Comprimento de rugosidade	0,026 m
Albedo	Variável – Figura-1

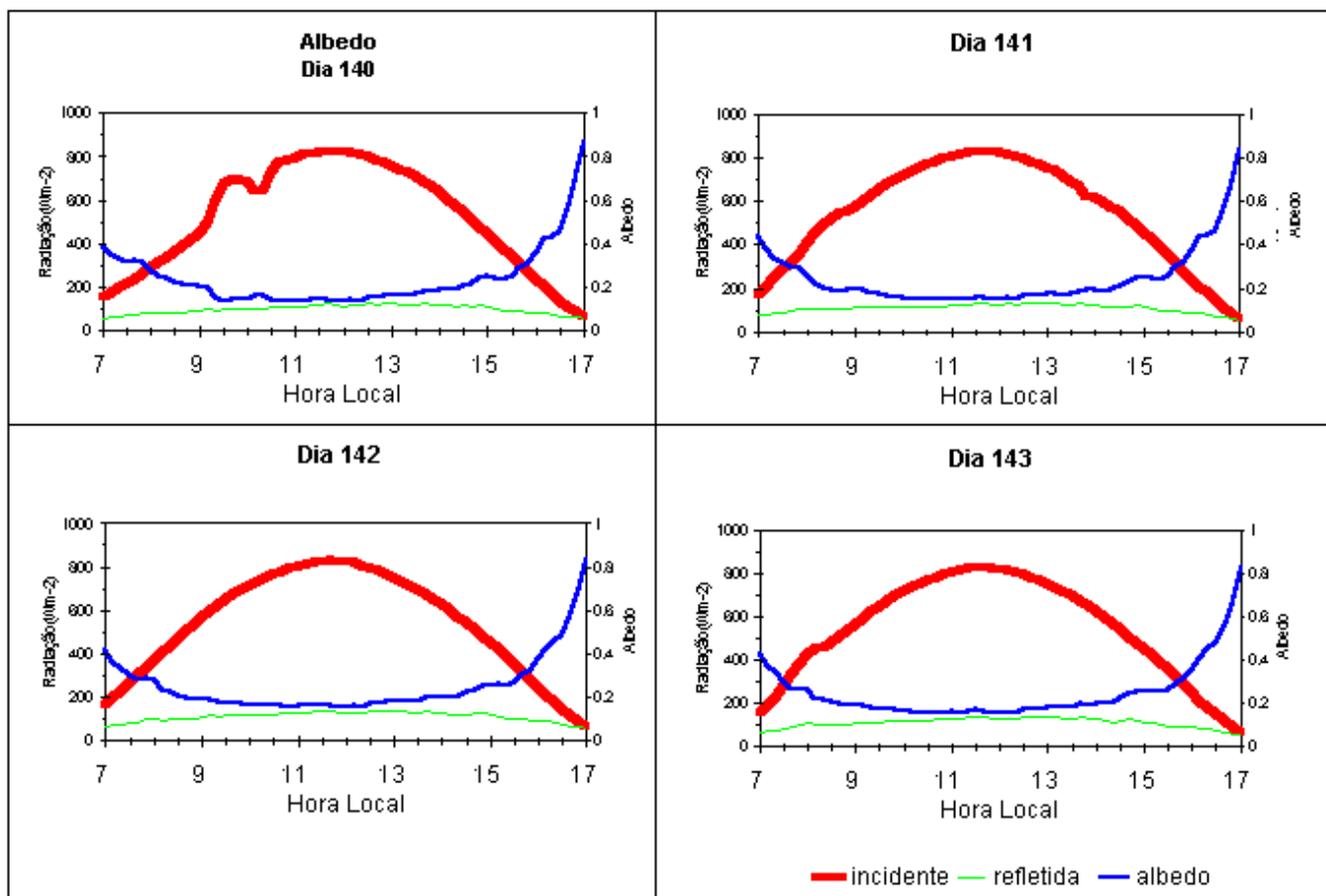


Figura 1 - Albedo e radiações incidente e refletida em Passo do Lontra, MS, período de 20 a 23/05/1998.

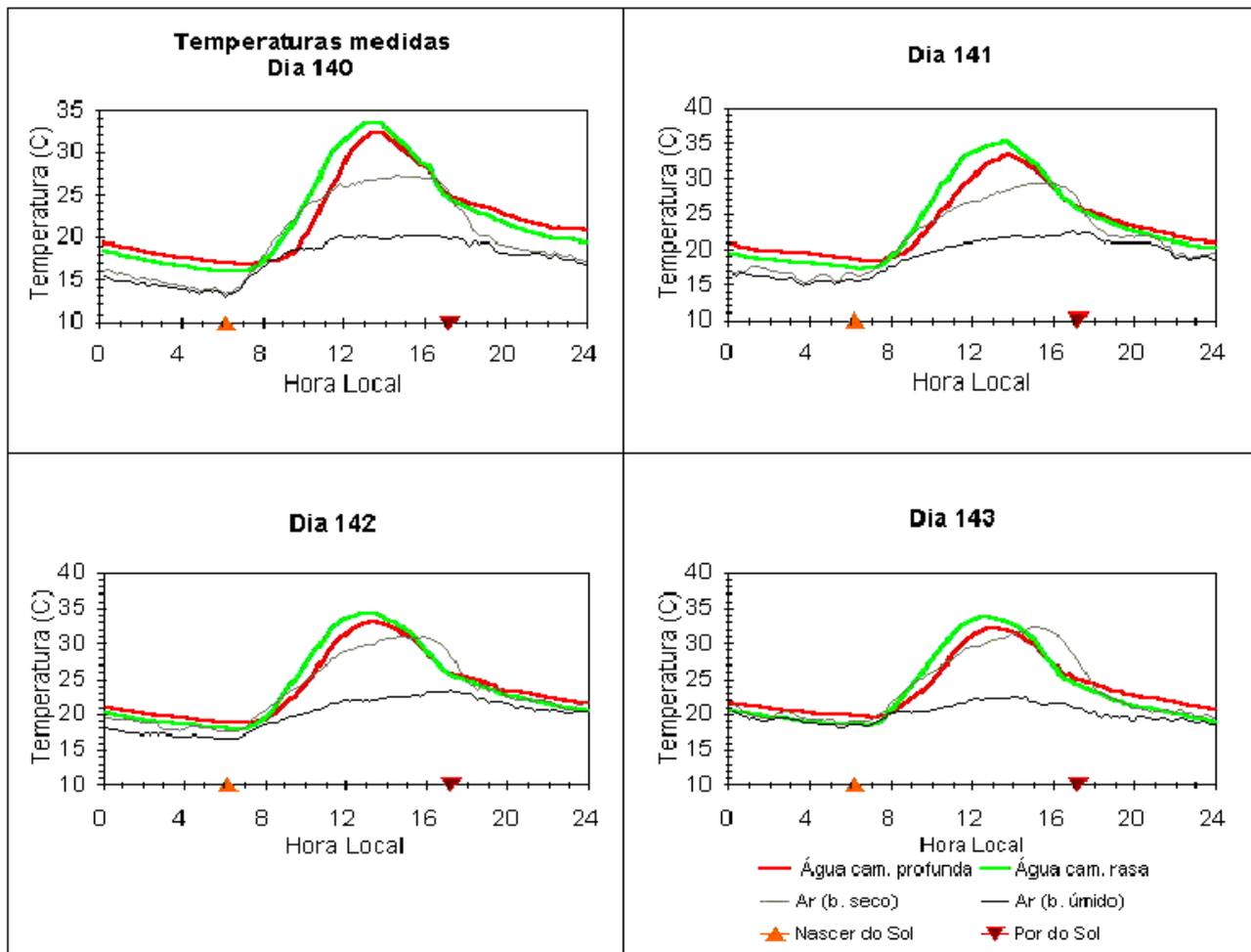


Figura 2 - Estratificação da temperatura na lâmina de água em Passo do Lontra, MS, no período de 20 a 23/05/1998.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Para os quatro dias sem nuvens considerados, 20 a 23 de maio de 1998 (dias julianos 140 a 143), com a presença de uma lâmina de água sobre o solo, obtiveram-se com a inclusão do termo advectivo **ADV** temperaturas da interface atmosfera-lâmina de água T_s menores e aparentemente mais realistas que as obtidas sem considerar a advecção (Figura 3). Quanto aos fluxos de **Rn**, **H**, **LE** e **G** simulados pelo modelo com advecção, em geral foram sensivelmente melhores que os sem advecção, conforme mostra a Figura 4, para o dia 143, cujo comportamento é semelhante ao dos outros três considerados. Em geral, depois das 10:00 h até o anoitecer, e durante todo o período noturno, o desempenho do modelo com advecção é bem melhor, enquanto do nascer do sol até as 10:00 h as discrepâncias de ambos os modelo em relação aos dados medidos são maiores, fatos que continuam em estudo, com o objetivo de determinar as causas disto e melhorar as parametrizações.

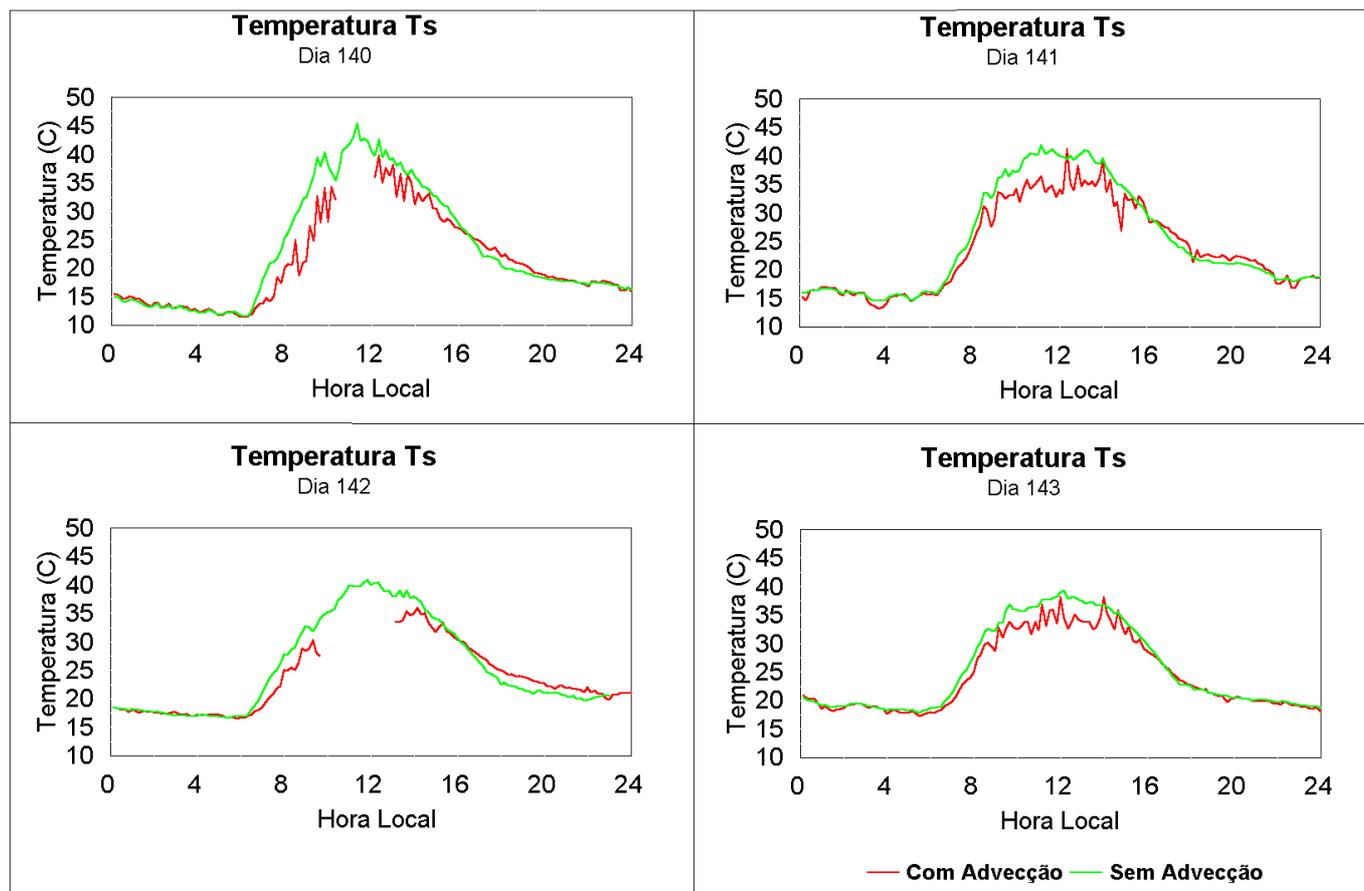


Figura 3 - Temperatura (T_s) da interface ar-lâmina de água, com e sem consideração da advecção, em Passo do Lontra, MS (Campanha IPE-1), período de 20 a 23 de maio de 1998.

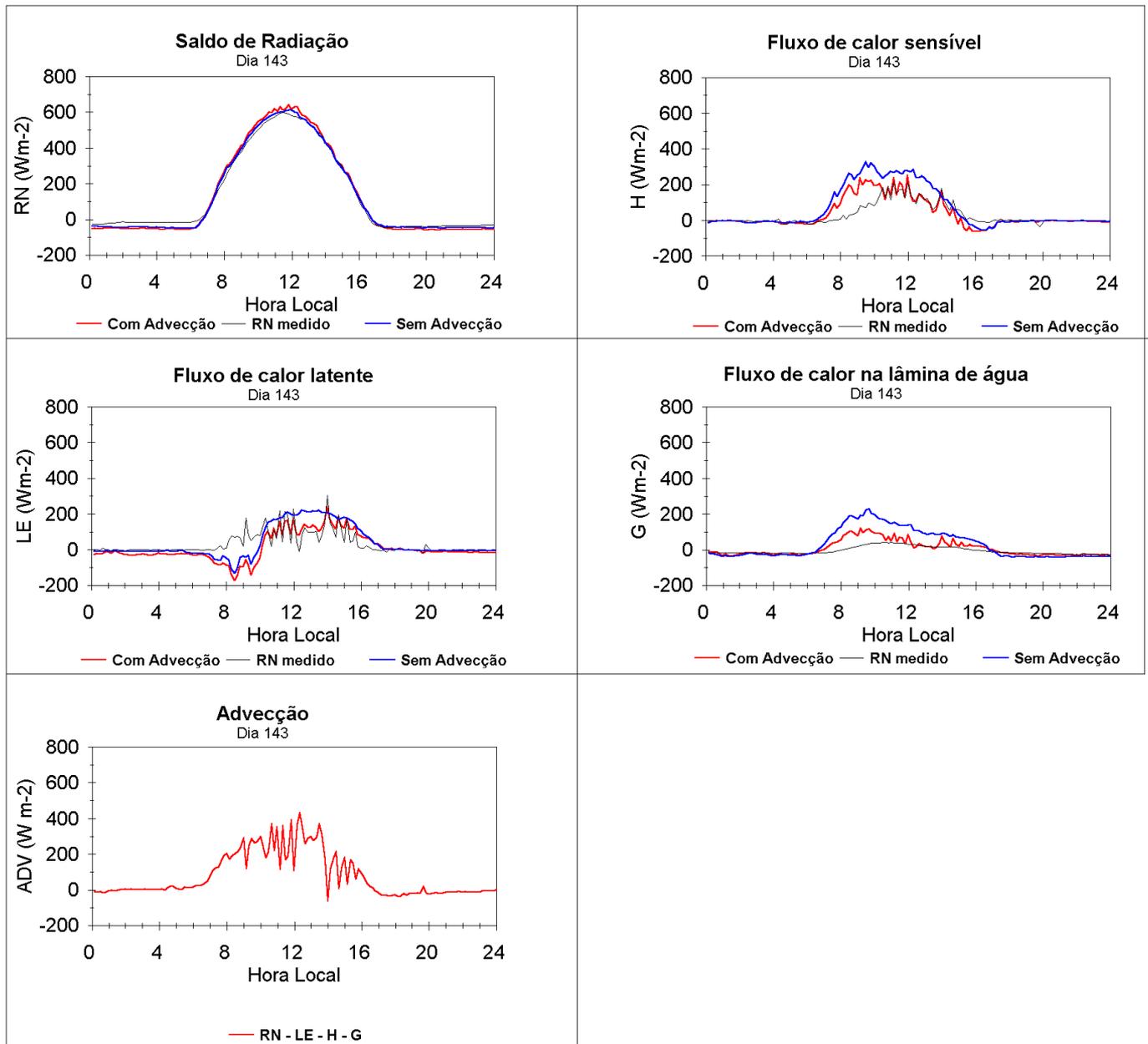


Figura 4 - Partição de energia em Passo do Lontra, MS, no dia 23 de maio de 1998

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelas bolsas de Iniciação Científica PIBIC/INPE para Átila Madureira Bueno e Wellington Oliveira Pinto. À equipe do projeto IPE-1, financiado pela FAPESP Proc. 98/00105-5, pelos dados observacionais. A Edson Pereira Marques Filho, pelos dados de fluxos de calores sensível e latente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bueno, A. M. **Estudo da partição de energia sobre terrenos complexos de setor do Pantanal Sulmatogrossense**. Relatório final de bolsa PIBIC. São José dos Campos, INPE, 1999.
- Desjardins, L.; MacPherson, J.I.; Mahrt, L.; Schuepp, P.; Pattey, E.; Neumman, Baldocchi, D.; Wofsy, S.; Fitzjarrald, D.; McCaughey, H.; Joiner, D. W. Scaling flux measurements for the Boreal forest using aircraft-tower combinations. **Journal of Geophysical Research**, v.102, n.D24, p.29125-29133, December 26, 1997.
- Jacobs, A.F.G.; Jetten, T.H.; Lucassen, D.C.; Heusinkvel, B.G.; Nieveen, J.P.; Diurnal temperature fluctuations in a natural shallow water body. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.88, p.269-277, 1997.
- Marques F^o., E.P. **Alguns aspectos teóricos e experimentais da camada limite superficial acima do Pantanal Matogrossense**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, São José dos Campos, INPE, 1999. (INPE-7501-TDI/716).
- Philip, J. R. The theory of local advection: I. **Journal of Meteorology**, v. 16, p. 535-547, 1959.
- Pinto, W. O. **Efeito da advecção na partição de energia em terrenos complexos de setor do Pantanal Sulmatogrossense**. Relatório final de bolsa PIBIC. São José dos Campos, INPE, 2000.
- Santos Alvalá, R. C. **Estudo da partição de energia em terrenos complexos (áreas desflorestadas e de florestas)**. Tese de Doutorado em Meteorologia, São José dos Campos, INPE, 1993. (INPE-5522-TDI/519).
- Santos Alvalá, R. C.; Manzi, A. O.; Vittal Murty, K.P.R.; Gielow, R.; Arlino, P.A.R.; Alvalá, P.C.; Lima, I.T.D.; Marques F^o., E.P.; Sambatti, S.B.M.; Von Randow, C; Souza, A.; Kassab E.; Malhy, Y.S.; Kruijt, B.; Meirelles, M.L.; Projeto Interdisciplinar do Pantanal - Fase úmida (IPE-1). **Anais (CD-ROM)**. Congresso Brasileiro de Meteorologia 10. e Congresso Latino Americano e Ibérico de Meteorologia, Brasília, outubro, 1998. (artigoMI98058).