

MEDIDAS DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SOLO NO PANTANAL SUL MATOGROSSENSE DURANTE O PERÍODO DE TRANSIÇÃO SECO-ÚMIDO DE 2001-2002.

Regina Célia dos Santos Alvalá, Paulo Rogério de Aquino Arlino, Ralf Gielow

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE)

Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos, SP, 12201-970

Email: regina@cptec.inpe.br, paulo@cptec.inpe.br, ralf@cptec.inpe.br

Antônio Ocimar Manzi

Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE)

Rod. Pres. Dutra, km 40, Cachoeira Paulista, SP, 12630-000

Email: manzi@cptec.inpe.br

Amaury de Souza

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Campo Grande, MS

E-mail: amaury@nin.ufms.br

ABSTRACT

The soil thermal conductivity (λ), the thermal diffusivity (∞) and the volumetric heat capacity (C) were obtained for a Southern Mato Grosso Pantanal site (19°33'48"S; 57°00'53"W) during the dry – humid transition period of 2001-2002. Their daily average values were higher during the dry period (λ : $1.644 \pm 0.103 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; ∞ : $0.474 \pm 0.053 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; C: $3.516 \pm 0.485 \text{ MJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$ for 47 days), than during the wet one with the occurrence of a flood layer (λ : $1.710 \pm 0.025 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; ∞ : $0.450 \pm 0.027 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; C: $3.810 \pm 0.209 \text{ MJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$ for 75 days). However, the values of ∞ and C should be used with caution due to the absolute accuracy of their measurements.

INTRODUÇÃO

Freqüentemente, estudos de balanços de energia e de água à superfície terrestre exigem estimativas do fluxo de calor no solo e da temperatura à superfície dele. Modelos acoplados de transferência de calor e de umidade em solos nus (Milly, 1986; Camillo et al., 1983; Novak e Black, 1985; Passerat de Silans et al., 1989) ou em solos vegetados (Braud et al., 1994; Smirnova et al., 1997) exigem informações sobre as propriedades térmicas dos solos, tais como a condutividade térmica ou a difusividade térmica, e a capacidade calorífica volumétrica do solo. Esta última pode ser facilmente deduzida a partir das componentes do solo (van Wijk, 1963). A condutividade térmica e a difusividade térmica estão relacionadas com a capacidade calorífica; portanto, somente uma delas necessita ser determinada. Geralmente, a difusividade térmica é estimada, pois ela descreve processos de condução de calor com a temperatura como condição de contorno. De fato, a transferência de calor no solo origina-se de uma combinação complexa de processos condutivos e processos convectivos intra-porosos (Passerat de Silans et al., 1996).

Diversos métodos analíticos têm sido apresentados para estimar a difusividade ou a condutividade térmica dos solos. Alguns envolvem modelos teóricos (de Vries, 1963) ou modelos semi-empíricos. Embora estes modelos baseiem-se na fração volumétrica dos constituintes dos solos, eles se aplicam para solos com estrutura simples. Outros métodos baseiam-se em medidas de temperatura do solo observadas no campo. A maioria deles são deduzidos de soluções analíticas da equação de condução de calor uni-dimensional com a difusividade constante em um meio semi-infinito (Horton et al., 1983). Portanto, eles se aplicam para solos homogêneos. Horton et al. (1983) examinaram diversos deles, os quais baseiam-se na solução analítica da equação de condução de calor, considerando a temperatura no limite superior definida por uma função sinusoidal ou por séries de Fourier. Mostraram que o método harmônico foi o mais confiável se comparado com os demais examinados. A solução analítica usada nestes métodos não exige conhecimento do perfil inicial de temperatura. Isto em razão da hipótese de periodicidade constante, a qual está implícita nestas soluções. Entretanto, esta hipótese nem sempre é válida, particularmente em regiões onde mudanças climáticas abruptas podem ocorrer em períodos curtos, por exemplo, como durante a passagem de uma frente fria. Outros autores têm usado métodos baseados na Transformada de Laplace (MTL), o qual exige um perfil inicial de temperatura (Asrar e Kanemasu, 1982). Para estes métodos a

exigência de uma suposição de periodicidade constante não é necessária; logo, podem ser aplicados durante períodos de tempo mais curtos do que com o método harmônico. Por esta razão eles podem melhor preencher a condição de constância da difusividade. Asrar e Kanemasu (1982) argüíram que a cada dia é possível obter um perfil de temperatura uniforme quando ocorre inversão de gradientes na temperatura do solo. Contudo, eles não estudaram a sensibilidade do método para esta hipótese. Passerat de Silans (1986, 1988) mostrou que o MTL é muito sensível ao perfil inicial de temperatura e propôs a introdução de um termo de correção que leva em conta a não uniformidade do perfil inicial de temperatura.

Todos os métodos mencionados acima assumem homogeneidade vertical das propriedades térmicas. Contudo, em geral, como em solos nus ou em solos de regiões semi-áridas cobertas com vegetação esparsa, onde a camada superior do solo seca muito rápido, esta suposição pode não ser válida próximo da superfície do solo. Lettau (1954) desenvolveu uma teoria de transferência de calor no solo, considerando a difusividade térmica espacialmente não homogênea no solo, baseando-se na suposição de periodicidade uniforme. Nassar e Horton (1989) aplicaram este método para dados de campo de um solo argilo siltoso e também para valores de temperatura gerados por um modelo numérico. Eles investigaram o procedimento com o ajuste dos parâmetros da teoria de Lettau, e concluíram que os melhores resultados foram obtidos com ajuste por "spline" cúbico.

Por outro lado, o recente desenvolvimento da teoria de pulso de calor levou ao desenvolvimento de pequenos sensores de sonda dual que permitem a obtenção de medidas rotineiras observacionais de propriedades térmicas dos solos e do conteúdo de água no solo (Campbell et al., 1991; Bristow et al., 1993, 1994; Tarara e Ham, 1997; Bristow, 1998). Estes sensores consistem de duas agulhas de aço inox montadas em paralelo, separadas por uma distância. Uma agulha contém um aquecedor longitudinal (sonda aquecedor) e a outra um sensor de temperatura (sonda sensor). Com a sonda dual inserida no solo, um pulso de calor é aplicado para o aquecedor e a temperatura na sonda sensor registrada como uma função do tempo. A difusividade térmica e a capacidade calorífica do solo são então determinadas a partir da resposta da temperatura com o tempo na sonda sensor utilizando a solução analítica da equação da condução de calor radial em um cilindro com fonte de calor em seu eixo (Bristow et al., 1994, 1995; Bristow, 1998). A condutividade térmica é calculada como o produto da difusividade térmica e a capacidade calorífica. A capacidade calorífica medida pela sonda dual pode também ser usada juntamente com outros dados básicos de solo para calcular o conteúdo volumétrico de água no solo (Bristow et al., 1993; Bristow, 1998).

No presente trabalho, são apresentadas medidas das propriedades térmicas do solo obtidas em sítio na região do Pantanal Sul Matogrossense, em duas estações distintas, isto é, durante a estação seca, quando o solo é coberto por uma vegetação típica de cerrado, caracterizada por árvores de porte médio onde sobressaem espécies particulares como os paratupais ou ipês (*Tabebuia caraiba*) mais gramíneas subjacentes densamente distribuídas e durante a estação de inundação, quando a região é coberta por lâminas d'água, em que diversas plantas aquáticas, com raízes fixas e flutuantes, povoam os lagos, dentre as quais destacam-se os aguapés (Magalhães, 1982; Por, 1995).

MATERIAIS E MÉTODOS

O Pantanal Matogrossense é uma região de grande importância sócio-econômica e ecológica, que se destaca pela sua vasta biodiversidade e pelo regime hidrológico peculiar, apresentando dois regimes sazonais distintos, com épocas secas (de abril a setembro) e, a partir de outubro, épocas inundadas de acordo com a intensidade e a duração das precipitações (Rao et al., 1996). No Brasil, este ecossistema está situado nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, ocupando uma área de 138.183 km², conforme delimitado por Vila da Silva e Abdon (1998), o que o torna a maior planície inundável da Terra. O clima é predominantemente tropical, com a temperatura média anual em torno de 25 °C e máxima de aproximadamente 40 °C durante o verão, embora possa haver ocorrência de geadas quando há penetração de massas de ar frio oriundas das planícies dos pampas e do Chaco (Por, 1995).

Os dados considerados para o estudo foram obtidos através do programa de monitoramento do Projeto Interdisciplinar do Pantanal (IPE). Este projeto é um amplo programa de estudos do Pantanal Sul Matogrossense, em que vem se realizando experimentos para coleta de dados micrometeorológicos desde 1996, visando investigar a estrutura da camada limite superficial acima da região (Alvalá et al., 1998). O sítio experimental localiza-se próximo à Base de Estudos do Pantanal (BEP), da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), na região Sul do Pantanal (19°33'48"S; 57°00'53"W), em Passo do Lontra, município de Corumbá, MS. A base localiza-se distante cerca

de 315 km de Campo Grande, 100 km de Corumbá e 100 km de Miranda. A escolha do local acima mencionado deveu-se às condições de infra-estrutura disponíveis e às facilidades de acesso. Os ventos predominantes são de Noroeste neste local, contribuindo para trazer informações micrometeorologicamente relevantes do Pantanal Central para o sítio experimental.

As medidas na área do Pantanal foram feitas com um sensor recentemente desenvolvido para medidas de propriedades térmicas do solo (TP01 da Hukseflux, Holanda). Este sensor é uma versão modificada das sondas de regime transiente (também chamadas sonda-dual ou sonda de pulso de calor). Esta técnica utiliza medidas de temperatura ao redor de um fio aquecido para analisar propriedades do meio. O TP01 tem um sensor de temperatura diferencial (2 termopilhas) que mede a diferença radial de temperatura ao redor do filamento de aquecimento central com grande sensibilidade, tipicamente de 0,003 °C. Ressalta-se que com este sensor pode-se trabalhar com baixa potência, a qual é essencial com materiais úmidos, particularmente em solos. Foram obtidos valores instantâneos (a cada 30 minutos) das propriedades térmicas à profundidade de 0,20 m dentro do solo. O sensor é novo, tendo sido considerada a calibração de fábrica (0,159 mV/K). Para a aquisição dos dados utilizou-se um sistema de coleta CR10X da Campbell Scientific.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra os valores instantâneos (a cada 30 minutos), em horário TMG, da condutividade térmica (λ) medida com o sensor TP01 à profundidade de 0,20 m durante os períodos seco e de inundação na região do Pantanal Sul Matogrossense dentro do Projeto IPE. Observa-se o curso variável de λ durante os dias com chuvas registradas na estação seca, quando períodos de umedecimento do solo alternam-se com períodos de secagem. Após as chuvas, os valores de λ da camada de solo avaliada diminui consideravelmente, devido à taxa de evaporação durante o fase de secamento do solo, indicando a habilidade do solo da região em conduzir calor, bem como mostrando que λ não é constante para o solo do ecossistema avaliado. Ela varia com o tempo, conforme mostrado na Figura 1, mas também com a profundidade. Considerando uma média global, λ depende das condutividades das partículas do solo, da porosidade e do seu conteúdo de umidade (θ), das quais θ é a única variável de curto prazo para um dado solo. Conforme se observa na Figura 1, no período seco (considerado neste trabalho o período que vai dos dias 290 a 337), a adição de umidade no solo seco aumenta sua condutividade, o que acontece por duas razões. Primeiro, o revestimento das partículas do solo aumenta o contato térmico entre os grãos; segundo, desde que o espaço dos poros dos solos é finito, a adição de água nos poros deve expelir uma quantidade similar de ar deles. A partir do dia 338, quando a superfície é coberta por lâmina d'água e, portanto o solo passa a estar completamente saturado, os valores de λ são aproximadamente constantes. Outrossim, os valores de λ encontrados estão em concordância com os valores típicos apresentados por van Wijk e de Vries (1963) para solos.

A difusividade térmica do solo (∞), que representa a habilidade do solo em difundir as influências térmicas, está ilustrada na Figura 2. A ∞ controla a velocidade com que as ondas de temperatura se movem e a profundidade de influência térmica da superfície ativa, isto é, representa uma medida do tempo exigido para as variações de temperatura se propagarem. Os valores de ∞ na Figura 2 foram medidos à profundidade de 0,20 m no solo, as quais obviamente são afetadas pelas mesmas propriedades do solo que influenciam a condutividade térmica (λ) e a capacidade calorífica (C), especialmente a umidade do solo. Observa-se na Figura 2 a maior variabilidade de ∞ na estação seca, principalmente em razão da variação do conteúdo de umidade do solo devido à forte chuva registrada entre os dias 293-294. A diminuição de ∞ após estes dias pode estar relacionada ao fato do solo ficar saturado após as chuvas ocorridas no período mencionado. Conforme ressalta Oke (1987), adicionar umidade a um solo seco inicialmente produz um aumento em ∞ , aumentando o contato térmico e expelindo o ar do solo; entretanto, na maioria dos solos, com valores superiores a 20% de conteúdo de umidade do solo por volume, ∞ começa a diminuir. Isto acontece porque à medida que os níveis de λ começa a diminuir, o valor de C continua a aumentar para conteúdos de umidade mais altos.

A capacidade calorífica do solo (C), derivada dos valores de λ e ∞ ($C = \lambda / \infty$) à profundidade de 0,20 m no solo, está ilustrada na Figura 3, indicando a habilidade do solo e armazenar calor, isto é, expressa a variação de temperatura resultante do ganho ou perda de calor. Os valores de C dependem do conteúdo de umidade do solo, com os menores valores observados no período seco de 2001. A adição de água no solo, com respectiva capacidade calorífica mais alta, exclui um volume proporcional de ar no solo, cuja capacidade calorífica é muito mais baixa. Isto resulta em uma redução na sensibilidade térmica do solo. Observam-se na Figura 3 valores máximos de C superiores a $4 \text{ MJ K}^{-1} \text{ m}^{-3}$, os quais não são fisicamente corretos, uma vez que o solo não possui C

maior que a da água pura, igual a $4,19 \text{ MJ K}^{-1}\text{m}^{-3}$. A razão para os valores superestimados de C é apresentada a seguir.

O sensor TP01 mede as propriedades térmicas do solo, sendo a condutividade térmica obtida pela medida da variação da temperatura do solo, gerada por um elemento de aquecimento, cuja precisão é de $\pm 5\%$ e a resolução dependente do sistema usado para a coleta de dados. No presente trabalho, os dados foram coletados usando-se um datalogger CR10X da Campbell Scientific, o que produziu uma resolução de aproximadamente $0,5 \text{ mW m}^{-1}\text{K}^{-1}$. A medida de ∞ obtida com o sensor TP01 tem precisão de $\pm 20\%$ e resolução que varia exponencialmente dependendo da taxa de amostragem das leituras e também da faixa de tempo medido, os quais foram 1 Hz e 3 a 7 segundos, respectivamente. Com esta taxa de amostragem e tempo adotados, a resolução das medidas de ∞ variou de $0,44 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para 3 segundos a $0,05 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ para 7 segundos. A medida da capacidade calorífica, obtida como a razão entre λ e ∞ , é estimada com uma incerteza relativamente alta (10% , segundo o fabricante do sensor), principalmente para valores de tempo relativamente curtos, próximos de 3 segundos. Deste modo, as medidas de ∞ e C apresentadas não foram consideradas satisfatórias para a região estudada. Ressalta-se que a taxa de amostragem de 1 Hz, sugerida pelo fabricante, já foi alterada para 8 Hz, o que permitirá obter novos valores mais confiáveis (com resolução 8 vezes melhorada) das medidas de ∞ e, conseqüentemente, de C.

A Tabela 1 apresenta os valores médios, máximos, mínimos e os respectivos desvios-padrão para os dois períodos distintos, isto é, dos dias 290-337 (período seco) e dos dias 338-47 (período úmido). Conforme já mencionado, ressalta-se que os valores de ∞ e de C não podem ser considerados como sendo valores típicos para a região do Pantanal em razão da imprecisão dos mesmos.

Tabela 1 – Propriedades térmicas do solo na região do Pantanal Sul Matogrossense nos períodos seco (2001) e úmido (2001-2002).

Períodos	Seco (Dias 290-337/2001)			Úmido (Dias 338-365/2001 a 01-47/2002)		
	λ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	∞ $\times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	C $\text{MJ K}^{-1} \text{m}^{-3}$	λ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	∞ $\times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	C $\text{MJ K}^{-1} \text{m}^{-3}$
Média	1,644	0,474	3,516	1,710	0,450	3,810
Máxima	1,878	0,665	4,716	1,813	0,532	4,621
Mínima	1,387	0,380	2,116	1,617	0,380	3,039
Desvio Padrão	0,103	0,053	0,485	0,025	0,027	0,209

CONCLUSÕES

Os valores instantâneos (a cada 30 minutos) das propriedades térmicas do solo na região do Pantanal Sul Matogrossense foram medidos com o sensor TP01 da Hukseflux no período de 17 de outubro de 2001 a 16 de fevereiro de 2002, tendo-se observado que os valores obtidos estão consistentes com aqueles apresentados na literatura para os solos, particularmente para a condutividade térmica do solo (λ). Outrossim, ressalta-se que foram encontrados valores máximos da capacidade calorífica volumétrica do solo (C) fisicamente inconsistentes, em razão da precisão da medida da difusividade térmica do solo (∞) ser baixa ($\pm 20\%$) e sua resolução variar exponencialmente dependendo da taxa de amostragem das leituras e da faixa de tempo, as quais, nas medidas apresentadas foram 1Hz e de 3 a 7 segundos, respectivamente. Como os valores de C derivam da razão entre λ e ∞ , a incerteza das medidas é relativamente alta (10% segundo o fabricante do sensor), principalmente para valores de tempo relativamente curtos, próximos aos 3 segundos. Uma vez que o sensor continua instalado e coletando dados no sítio mencionado, este problema já foi sanado, tendo sido alterada a taxa de amostragem de 1 Hz da medida de ∞ (sugerida pelo fabricante) para 8Hz, o que tem permitido obter dados com resolução 8 vezes maior a partir do mês de abril de 2002. Finalmente, vale destacar que dados medidos de temperatura do solo serão utilizados para a estimativa de ∞ por métodos analíticos e numérico, conforme sugerido por Alvalá et al. (1996) e Alvalá et al. (2002), o que possibilitará avaliar o desempenho do sensor TP01 para medidas desta propriedade térmica no solo do Pantanal. Além disso, amostras de solos deverão ser oportunamente coletadas para análise granulométrica, o que permitirá conhecer as classes de textura do solo, e para obtenção da umidade do solo pelo método gravimétrico. Estes dados subsidiarão as análises dos dados medidos das propriedades térmicas.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem aos colegas Giancarlo Lastoria a UFMS pelo apoio; aos colegas Engenheiro Jorge Martins Nogueira e ao técnico Jorge Mello pela monitoramento dos dados. Finalmente, os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelos recursos cedidos (FAPESP - Processo 0098/00105-5).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvalá, R. C. S.; Gielow, R.; Wright, I., R.; Hodnett, M. G. Thermal Diffusivity of Amazonian Soils. In: Gash, J. H. C.; Nobre, C. A.; Roberts, J. M.; Victória, R. L. (eds). *Amazon Deforestation and Climate*. Chichester, U.K. Wiley, 1996. p. 139-150.
- Alvalá, R. C. S.; Manzi, A. O.; Sá, L. D. A.; Vittal Murty, K. P. R.; Gielow, R. Arlino, P. R. A.; Alvalá, P. C.; Lima, I. T. D.; Marques Filho, 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 do X Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, 1998.
- Alvalá, R. C. S.; Gielow, R., da Rocha H. R.; Freitas, H. C.; Lopes, J. M.; Manzi, A. O.; von Randow, C.; Dias, M. A. F. S.; Cabral, O. M. R.; Waterloo, M. J. Intradiurnal and seasonal variability of soil temperature, heat flux and diffusivity under pasture and forest in Rondonia, *Journal of Geophysical Research*, 2002. In Press.
- Asrar, G.; Kanemasu, E. T. Estimating thermal diffusivity near the soil surface using Laplace transform: uniform initial conditions. *Soil Science Society American Journal*, 47(3), 397-401, 1982.
- Braud, I.; Dantas-Antonino, A. C.; Vauclin, M.; Thony, J. L.; Ruelle, P. A simple soil plant atmosphere transfer model (SiSPAT): development and field verification, *Journal of Hydrology*, 166, 213-250, 1994.
- Bristow, K. L. Measurement of thermal properties and water content of unsaturated sandy soil using dual-probe heat-pulse probes. *Agricultural and Forest Meteorology*, 89, 75-84, 1998.
- Bristow, K. L.; Bilskie, J.; Kluitenberg, G. J.; Horton, R. Comparison of techniques for extracting soil thermal properties from dual-probe heat-pulse data. *Soil Science*, 160, 1-7, 1995.
- Bristow, K. L.; Kluitenberg, G. J.; Horton, R. Measurement of soil thermal properties with a dual-probe heat-pulse technique. *Soil Science Society American Journal*, 58, 1288-1294, 1994.
- Bristow, K. L. Campbell, G. S.; Calissendorff, C. Test of a heat-pulse probe for measuring changes in soil water content. *Soil Science Society American Journal*, 57, 930-934, 1993.
- Campbell, G. S; Calissendorff, K.; Williams, J. H. Probe for measuring soil specific heat using a heat pulse method. *Soil Science Society American Journal*, 55, 291-293, 1991.
- Camillo, P. J; Gurney, R. J.; Schmugge, T. J. A soil and atmospheric boundary layer model for evapotranspiration and soil moisture studies. *Water Resources Research*, 19, 371-380, 1983.
- de Vries, D. A. Thermal properties of soils. In: van Wijk, W. R. (Ed.). *Physics of Plant Environment*. North Holland Publishing, Amsterdam, 1963.
- Horton, P.; Wierenga, P. J.; Nielsen, D. R. Evaluation of methods for determining the apparent thermal diffusivity of soil near the surface, *Soil Science Society American Journal*, 47, 25-32, 1983.
- Lettau, H. H. Improved models of thermal diffusion in the soil, *Transaction American Geophysics Union*, 35, 121-132, 1954.
- Magalhães, N. W. *Conheça o Pantanal*. São Paulo: Terragraph, 1992, 390p

- Milly, P. C. D. An event-based simulation model of moisture and energy fluxes at a bare soil surface. *Water Resources Research*, 22(12), 1680-1692, 1986.
- Nassar, J. N.; Horton, R. Determination of the apparent thermal diffusivity of a nonuniform soil. *Soil Science*, 147(4), 238-244, 1989.
- Novak, M. D.; Black, T. A. Theoretical determination of the surface energy balance and thermal regimes of bare soils, *Boundary-Layer Meteorology*, 33, 313-333, 1985.
- Oke, T. R. *Boundary Layer Climates*, London: Routledge, 1987, 435p
- Passerat de Silans, A. M. B. Determinação das propriedades térmicas de um solo in loco. Report 404015/86-7. CNPq Brasil, 18 pp., 1988.
- Passerat de Silans, A. M. B.; Monteny, B. A.; Lhomme, J. P. Apparent soil thermal diffusivity, a case study: HAPEX-Sahel experiment. *Agricultural Forest Meteorology*, 81, 201-216, 1996.
- Passerat de Silans, A. M. B.; Bruckler, L.; Thony, J. L.; Vauclin, M. Numerical modeling of coupled heat and water flows during drying in a stratified bare soil. Comparison with field observations, *Journal Hydrology*, 105, 109-138, 1989.
- Por, F. D. The Pantanal of Mato Grosso (Brazil). Dordrecht: K. A. Publishers, 122p., 1995.
- Smirnova, T. G.; Brown, J. M.; Benjamin, S. G. Performance of different soil model configuration in simulating ground surface temperature and surface fluxes, *Monthly Weather Review*, 125, 1870-1884, 1997.
- Smith, C. B.; Lakhtakia, M. N.; Capehart, W. J.; Carlson, T. N. Initialization of soil-water content for regional-scale atmospheric prediction models. *Bulletin American Meteorology Society*, 75, 585-593, 1994.
- Tarara, J. M.; Ham, J. M. Measuring soil water content in the laboratory and field with dual-probe- heat-capacity sensors. *Agronomy Journal*, 1997.
- Vila da Silva, J. S. e Abdon, M. M.. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 33. n. especial, p. 1703-1711, Out. 1998.
- Verhoef, A., van den Hurk, B. J. J. M.; Jacobs, A. F. G.; Heusinkveld, B. G. Thermal soil properties for vineyard (EFEDA-I) and savanna (HAPEX-Sahel) sites, *Agricultural Forest Meteorology*, 78, 1-18, 1996.
- Van Wijk, W. R. (Ed.), *Physics of Plant Environment*. North Holland, Amsterdam, 1963.
- Wierenga, P. J., Nielsen, D. R.; Hagan, R. M. Thermal properties of a soil based upon a field and laboratory measurements. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 33, 354-360, 1969.

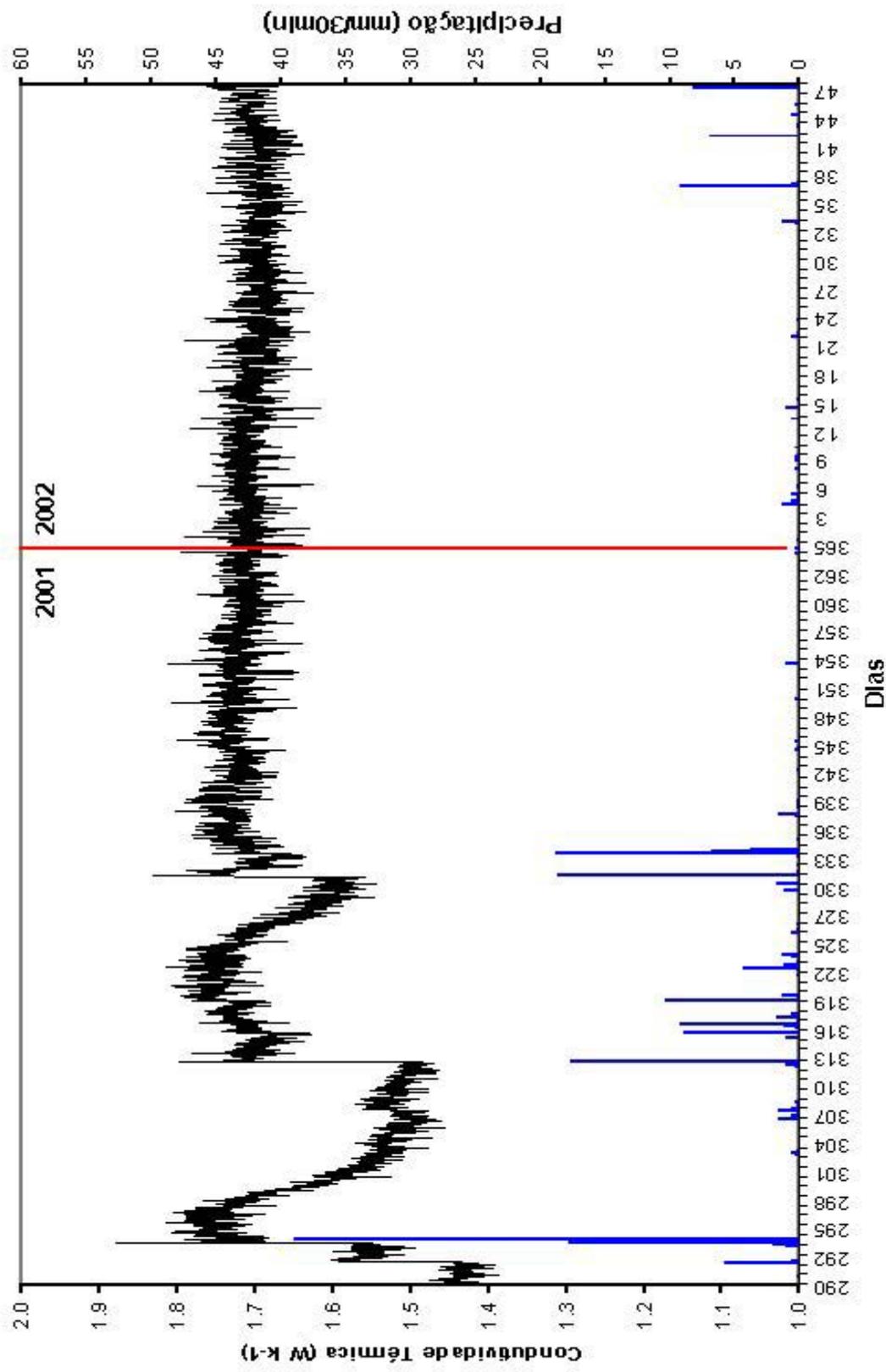


Figura 1. Condutividade térmica do solo medida (valores instantâneos a cada 30 minutos) à profundidade de 0,20 m no

XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002

Pantanal Sul Matogrossense durante Projeto IPE.

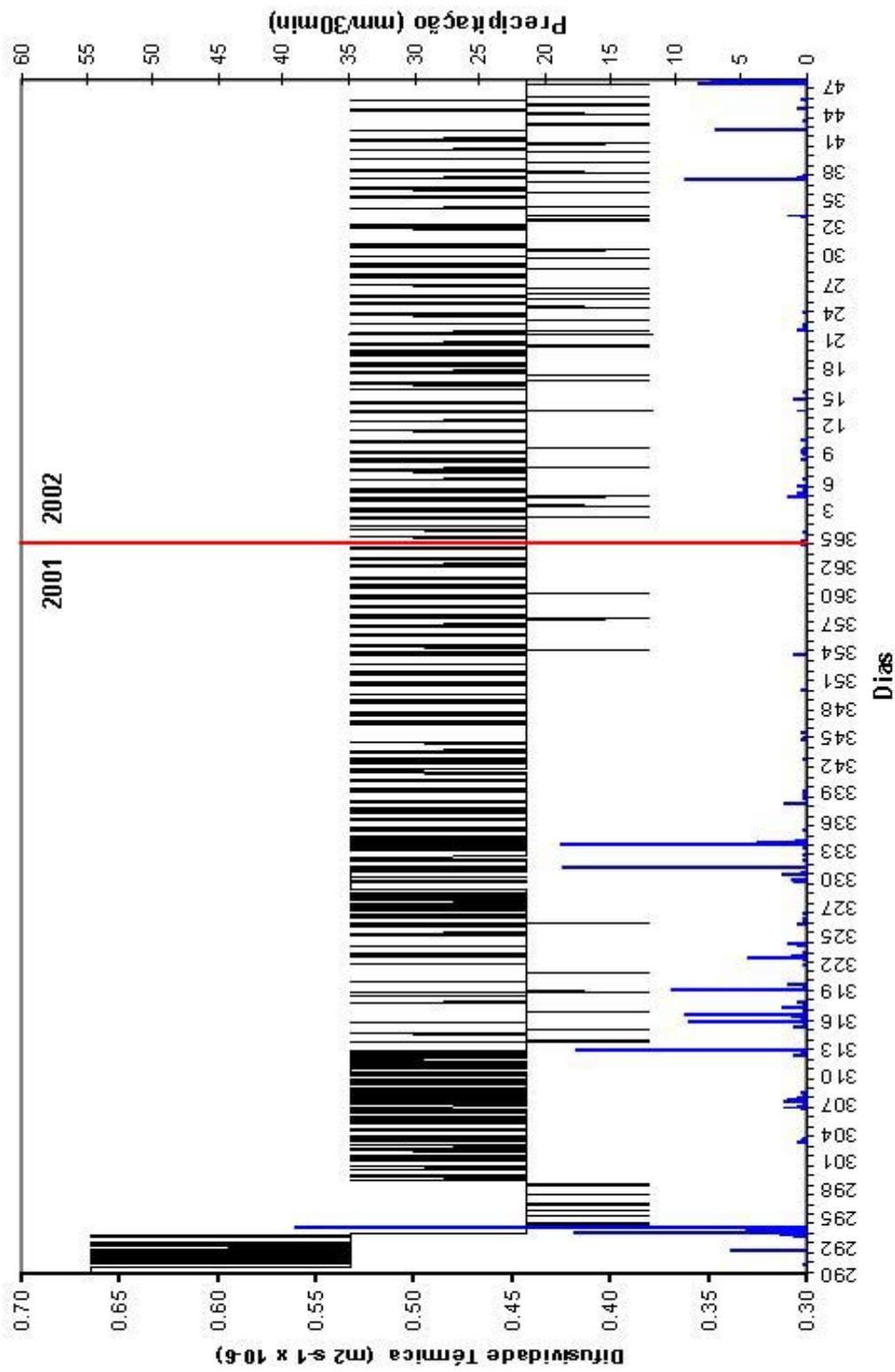


Figura 2. Difusividade térmica do solo medida (valores instantâneos a cada 30 minutos à profundidade de 0,20 m no Pantanal Sul Matogrossense durante o Projeto IPE.

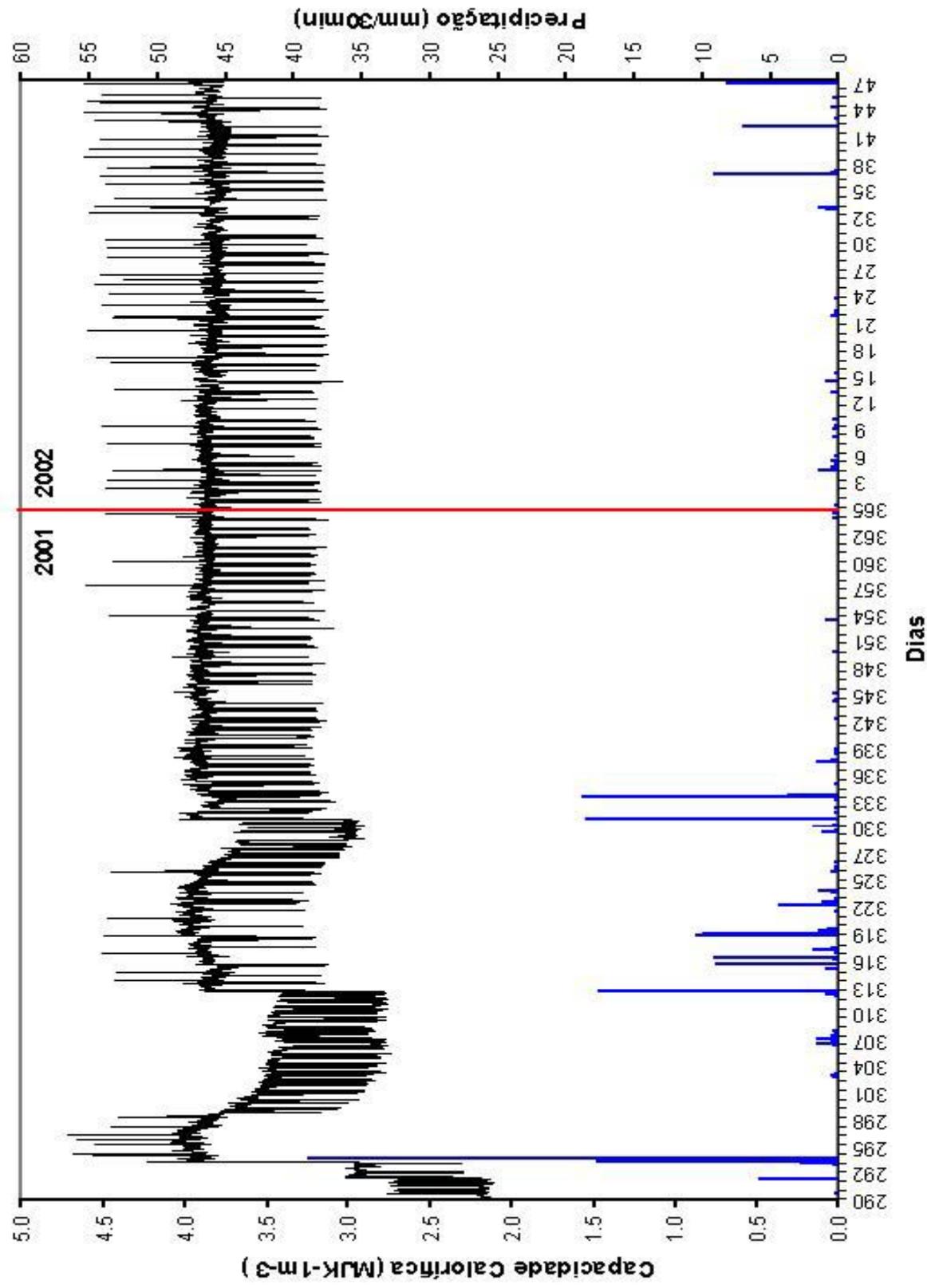


Figura 3. Capacidade calorífica volumétrica do solo medida (valores instantâneos a cada 30 minutos à profundidade de

XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002
de 0,20 m no Pantanal Sul Matogrossense durante o Projeto IPE.