

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

Regina Célia dos Santos Alvalá¹, Ralf Gielow¹, Paulo Rogério de Aquino Arlino¹, Antônio Ocimar Manzi², Amaury de Souza³

RESUMO

A condutividade térmica (λ), a difusividade (∞) e a capacidade calorífica volumétrica (C) à profundidade de 0,20 m no solo foram medidas na região do Pantanal Sul Mato-Grossense (19°33'48"S; 57°00'53"W) durante o período seco (abril – novembro) de 2002. Seus respectivos valores médios diários foram $1,075 \pm 0,503 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $0,701 \times 10^{-6} \pm 0,169 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; $1,517 \pm 0,634 \text{ MJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$. Os valores medidos das propriedades térmicas do solo são compatíveis com os resultados obtidos por Alvalá et al. (2002) para solos da região amazônica e também são consistentes com os valores encontrados na literatura.

ABSTRACT

The soil thermal conductivity (λ), the thermal diffusivity (∞) and the volumetric heat capacity (C) for the 0.0 - 0.20 m soil layer were obtained for a Southern Mato Grosso Pantanal site (19°33'48"S; 57°00'53"W) during the dry period (April - November) of 2002. Their daily average values measured were $1.075 \pm 0.503 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $0.701 \times 10^{-6} \pm 0.169 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$; $1.517 \pm 0.634 \text{ MJ m}^{-3} \text{ K}^{-1}$, respectively. The measurements of the soil thermal properties are consistent with the results obtained by Alvalá et al. (2002) for the Amazonian soils and also consistent with the values quoted in the literature.

1. Divisão de Clima e Meio Ambiente – DMA/CPTEC/INPE. Av dos Astronautas, 1758, Jd. da Granja. CEP: 12227-010 - São José dos Campos, SP. Fone: (012) 3945-6644. e-mail: regina@cptec.inpe.br, ralf@cptec.inpe.br, paulo@cptec.inpe.br
2. Escritório Central do Projeto LBA - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA. Av. André Araújo, 2936, Bairro Petrópolis, CP 478, CEP: 69011-970 - Manaus, AM. Fone: (092) 643-3255. e-mail: manzi@inpa.gov.br
3. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, e-mail: amaury@nin.ufms.br

INTRODUÇÃO

As trocas de calor e de umidade entre a superfície e a atmosfera são frequentemente os mecanismos dominantes nas circulações de meso-escala. Esses processos de superfície são considerados na física dos modelos de previsão de tempo através da especificação de diferentes condições de contorno inferior, as quais dependem das características da superfície e do solo; logo, apresentam variação espacial. Em áreas continentais ocorrem significativas variações diurnas de temperatura e do balanço de umidade próximo à interface com a atmosfera. Em particular, a previsão da temperatura da superfície e do conteúdo de umidade é crítica para a obtenção de previsões satisfatórias das trocas mencionadas.

Modelos acoplados de transporte de calor e de umidade em solos nus (Novak e Black, 1985; Passerat de Silans et al., 1989) ou em superfícies vegetadas (Braud et al., 1994; Smirnova et al., 1997) exigem informações sobre os perfis de temperatura e o fluxo de calor no solo, os quais dependem das propriedades térmicas dos solos. Estas propriedades são (i) a condutividade térmica, que representa a habilidade do solo em conduzir calor; (ii) a difusividade térmica, que representa a habilidade do solo em difundir calor, isto é, é uma medida do tempo necessário para as variações de temperatura se propagarem e (iii) a capacidade calorífica volumétrica, que indica a habilidade do solo em armazenar calor, isto é, expressa a variação de temperatura resultante do ganho ou perda de calor. Essas propriedades, por sua vez, dependem do conteúdo de umidade do solo, da composição e estrutura do solo e da cobertura de vegetação (sombreamento, influência da raiz sobre o conteúdo de umidade do solo). No entanto, a determinação destes dados com base em medidas de campo, especialmente em função do conteúdo de água, não é rotineiramente disponível, apesar da crescente demanda causada pelas necessidades detalhadas dos modelos de transporte.

As propriedades térmicas do solo, devido às suas dependências do conteúdo de umidade do solo variam em ambos espaço e tempo, causando dois tipos de heterogeneidades (Verhoef et al., 1996). Uma heterogeneidade de meso-escala, que pode ser induzida por chuvas que variam espacialmente, a qual influencia estas propriedades (e, portanto, a temperatura e o fluxo de calor no solo) através de mudanças no conteúdo de umidade no solo em uma escala de diversos quilômetros; segundo, uma heterogeneidade na micro-escala, a qual depende das condições da superfície, isto é, se o solo apresenta-se nu ou coberto com vegetação. A cobertura pode ser densa ou ser esparsa em diferentes graus. Isto influencia a camada de solo próximo à superfície por sombreamento homogêneo ou não, com conseqüente influência sobre a umidade do solo e, portanto, sobre as propriedades térmicas deste. Além das variações espaciais, grandes variações temporais ocorrem quando períodos com chuvas fortes são alternados por períodos secos.

Além disso, todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo são influenciados pela temperatura e pelo conteúdo de umidade do solo e seus gradientes. Por exemplo, os processos biológicos, tais como o transporte de nutrientes e água pelas raízes, a decomposição de matéria

orgânica por microorganismos e a germinação de sementes, são afetadas por eles. As taxas de alguns desses processos mais do que duplicam para cada 10 K de aumento na temperatura. Em alguns casos, o crescimento de partes da planta acima da superfície está mais estreitamente correlacionado com a temperatura do solo do que com a temperatura do ar. Os processos físicos, como o movimento de água e a secagem do solo, também podem ser fortemente influenciados pela temperatura (Campbell, 1985).

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. Muitos deles são deduzidos de soluções analíticas da equação de condução de calor unidimensional 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 se baseiam na solução analítica da equação de condução de calor, considerando a temperatura no limite superior definida por uma função senoidal 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 abruptas de tempo 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 (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, as quais são 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, 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 paratudais ou ipês (*Tabebuia caraiba*), mais gramíneas subjacentes densamente distribuídas (Magalhães, 1982; Por, 1995).

MATERIAIS E MÉTODOS

O Pantanal Matogrossense é uma região de grande importância sócio-econômica e ecológica, o qual 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 que se originam das planícies dos pampas e do Chaco (Por, 1995).

Os dados considerados para o estudo foram obtidos do programa de monitoramento do Projeto Interdisciplinar do Pantanal (IPE). Este projeto é um amplo programa de estudos do Pantanal Sul Matogrossense, que realizou experimentos para coleta de dados micrometeorológicos desde 1996 até 2002, 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 infraestrutura 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 região 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 o período seco de 2002 da região do Pantanal Sul Matogrossense no escopo do Projeto IPE. Inicialmente, observa-se o declínio de λ durante o período de secagem do solo, em razão da diminuição de sua umidade. Com o reinício de chuvas fracas, os valores de λ continuam diminuindo a uma taxa menor, com pequenas oscilações. Com a primeira chuva mais intensa, há um aumento substancial de λ , seguido de decaimento rápido até a próxima chuva, quando se repete o ciclo. 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 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. Por outro lado, os valores de λ encontrados estão em concordância com os valores típicos apresentados por van Wijk (1963) para solos.

A difusividade térmica do solo (α) está ilustrada na Figura 2. Esta 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 α na Figura 2 foram medidos à profundidade de 0,20 m no solo, os quais são também afetados 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 uma variabilidade de α similar àquela de λ , mas com amplitude menor, apesar das oscilações apresentadas, as quais são devidas à taxa de amostragem que permitiu obter dados com resolução maior. Conforme ressalta Oke (1987), adicionar umidade a um solo seco inicialmente produz um aumento em α , 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, α 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 α ($C = \lambda / \alpha$) à profundidade de 0,20 m no solo, está ilustrada na Figura 3, indicando a habilidade do solo em armazenar calor. Os valores de C dependem do conteúdo de umidade do solo. A adição de água no solo, cuja respectiva capacidade calorífica é mais alta, exclui um volume proporcional de ar no solo, o qual, por sua vez, tem capacidade calorífica muito mais baixa. Isto resulta em uma redução na sensibilidade térmica do solo.

A Tabela 1 apresenta os valores médios, máximos, mínimos e os respectivos desvios-padrão dos valores das propriedades térmicas medidos, os quais são compatíveis com os valores estimados por Alvalá et al. (2002) para solos da região amazônica, bem como com outros valores encontrados na literatura.

Tabela 1 – Propriedades térmicas do solo na região do Pantanal Sul Matogrossense no período seco de 2002

Período	Dias 142-333		
Propriedade Térmica	λ W m⁻¹ K⁻¹	α x 10⁻⁶ m² s⁻¹	C MJ K⁻¹ m⁻³
Média	1,075	0,701	1,517
Máxima	1,853	2,364	3,436
Mínima	0,130	0,495	0,114
Desvio Padrão	0,503	0,169	0,634

Finalmente, vale destacar que dados medidos de temperatura do solo estão sendo utilizados para a estimativa de α por métodos analíticos e numérico, conforme sugerem 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 da UFMS pelo apoio; aos colegas Engenheiro Jorge Martins Nogueira e ao técnico Jorge Mello pelo 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.; Kassar, 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. Intradurnal and seasonal variability of soil temperature, heat flux and diffusivity under pasture and forest in Rondonia, *Journal of Geophysical Research*, 107, X-1 – X-20, 2002.

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.

Campbell, G. S. Soil Physics With Basic – Transport Models for Soil Plant Systems, 1st ed., 155 pp., Elsevier Sci, New York, 1985.

- 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.
- Rao, V. B.; Cavalcanti, I. F. A.; Hada, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 101, n. D21, p.26539-26551, Nov. 1996.
- 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. *Bulletim 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.

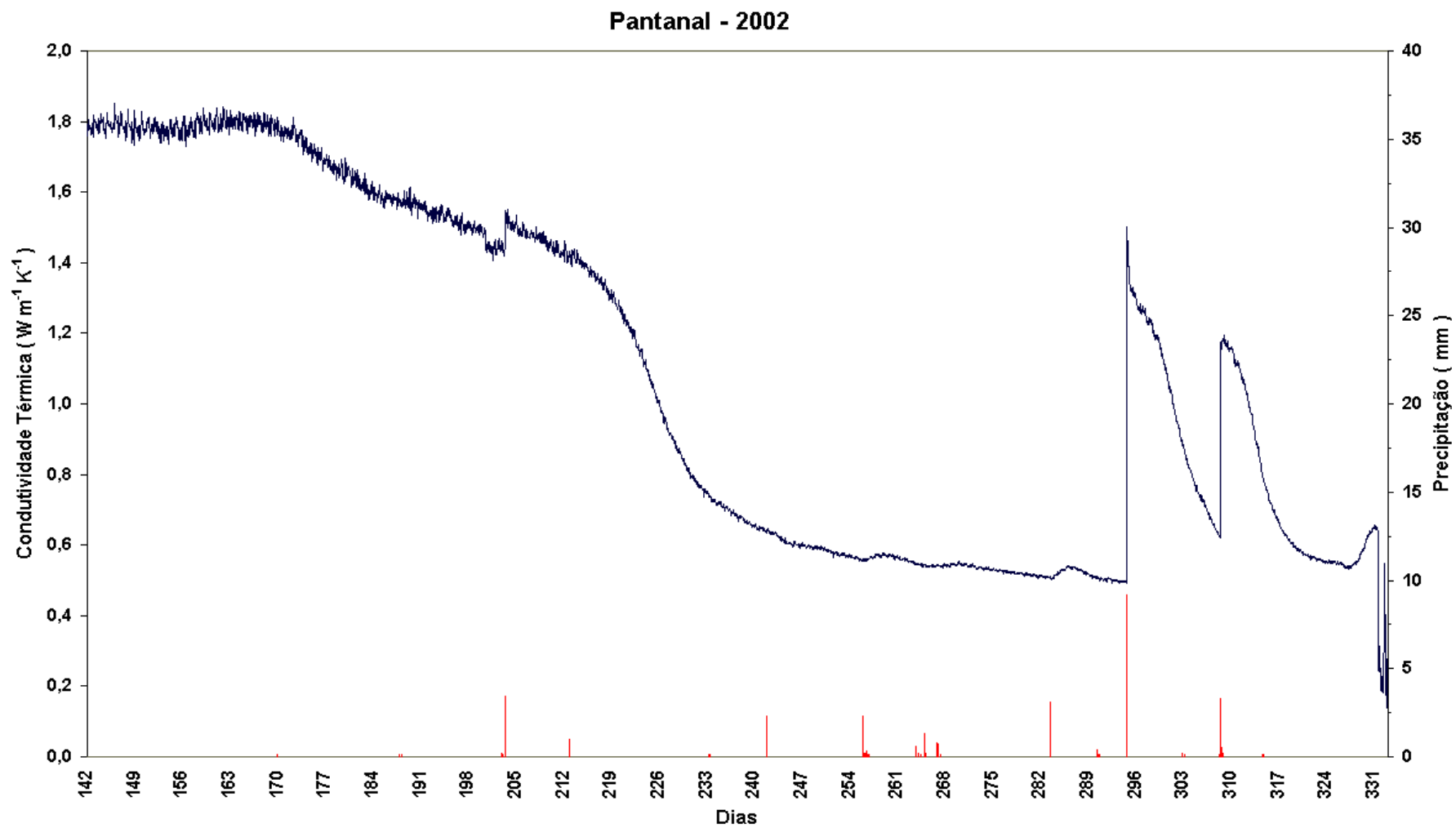


Figura 1. Condutividade térmica do solo medida (valores instantâneos a cada 30 minutos) à profundidade de 0,20 m no Pantanal Sul Matogrossense no período seco de 2002.

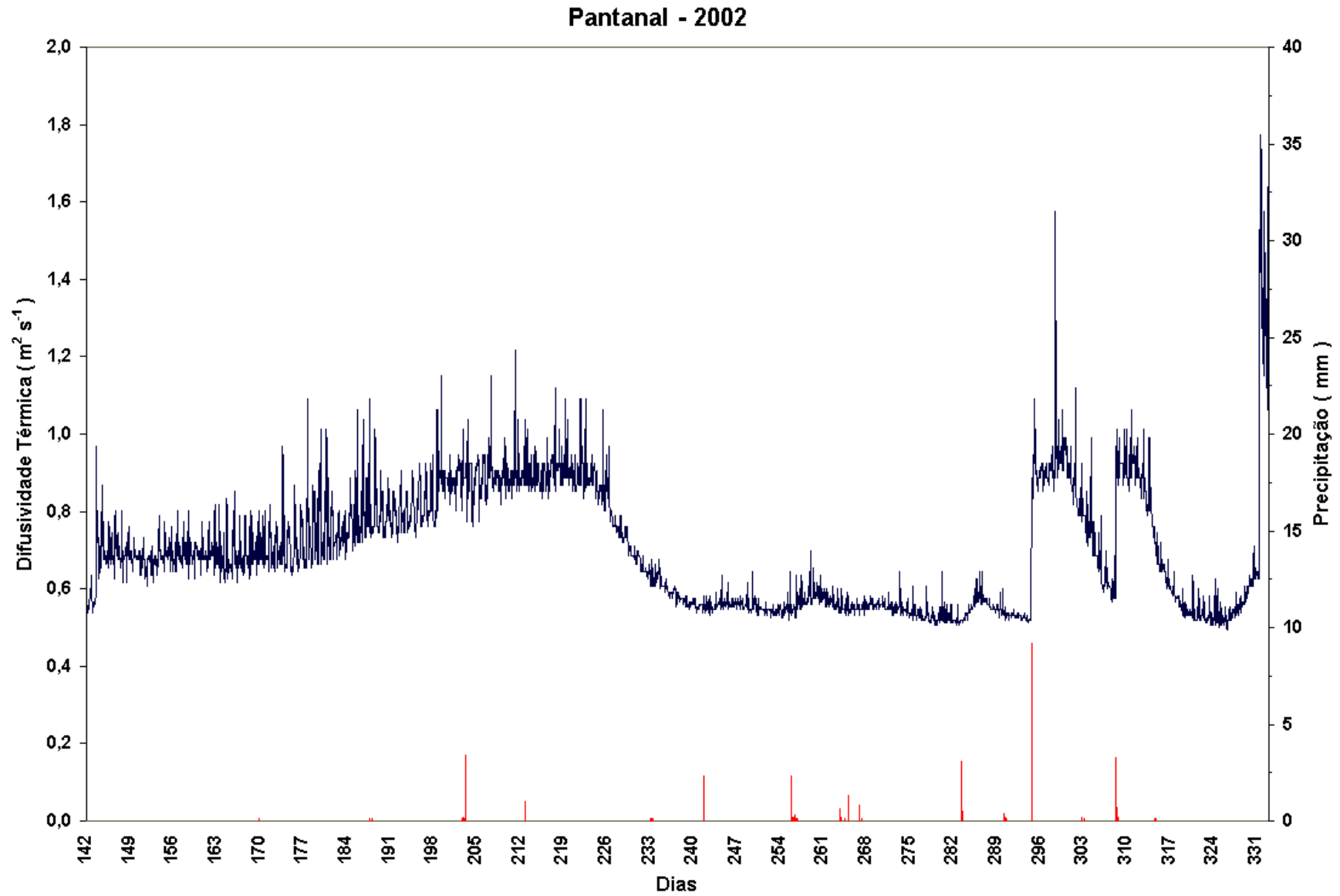


Figura 2. Difusividade térmica do solo medida (valores instantâneos, $\times 10^6$, a cada 30 minutos) à profundidade de 0,20 m no Pantanal Sul Matogrossense durante o período seco de 2002.

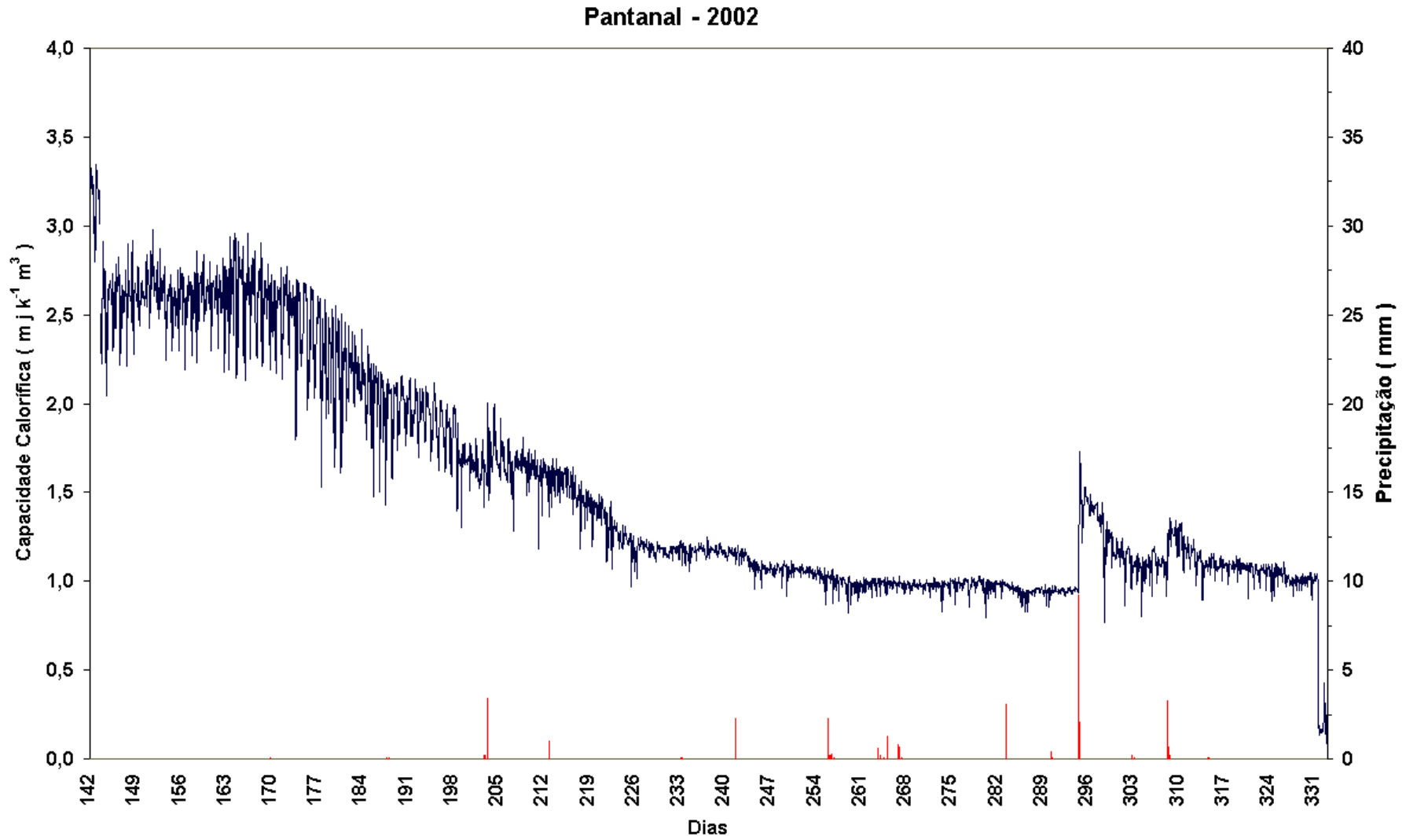


Figura 3. Capacidade calorífica volumétrica do solo medida (valores instantâneos a cada 30 minutos) à profundidade de de 0,20 m no Pantanal Sul Matogrossense durante o período seco de 2002.