

# Variabilidade sazonal horária das propriedades térmicas em gleissolo háplico no norte do pantanal<sup>1</sup>

## Hourly seasonal variability of thermal properties in haplic gleysol in northern of pantanal

Jonathan Willian Zangeski Novais<sup>2\*</sup>; Thiago Rangel Rodrigues<sup>2</sup>;  
Leone Francisco Amorim Curado<sup>2</sup>; Allan Gonçalves Oliveira<sup>2</sup>;  
Sérgio Roberto de Paulo<sup>3</sup>; José de Souza Nogueira<sup>3</sup>

### Resumo

Pesquisas envolvendo a dinâmica térmica do solo pantaneiro ainda não foram exploradas de forma que se tenha um maior conhecimento dessa dinâmica na região, tornando-se necessário estudos que discutam suas propriedades térmicas, de forma a contribuir com o entendimento desse bioma. Dessa maneira, o presente trabalho analisou a variabilidade média do fluxo de calor no solo de um dia característico de cada período: chuvoso e seco, uma vez que a região apresenta uma sazonalidade no pulso de inundação e pluviosidade, afetando as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera. Foi feita uma análise da influência da condutividade térmica e do gradiente térmico nos valores do fluxo de calor no solo. Observou-se que a variabilidade dos componentes térmicos do solo acompanhou o pulso de inundação da região pantaneira, pois a presença de água foi determinante na variação sazonal do fluxo de calor no solo, do gradiente de temperatura e da condutividade térmica do solo no Pantanal.

**Palavras-chave:** Condutividade térmica, fluxo de calor no solo, gradiente de temperatura

### Abstract

Researches about thermal dynamics of the wetlands soil has not been explored in order to have a better understanding of this dynamic in the region, making it necessary studies to explain their properties in order to contribute to the understanding of this biome. Thus, this study examined the variability of the average soil heat flow through a characteristic day of each season: rainy and dry, the region has a seasonal flood pulse and rainfall, affecting the exchange of energy between the surface and atmosphere. It was made analysis of the influence of thermal conductivity and thermal gradient in the values of heat flow in soil. It was observed variability of soil thermal components followed the flood pulse of the Pantanal region, because presence of water was essential for the seasonal variation of soil heat flux, temperature gradient and thermal conductivity of soil in the Pantanal.

**Key words:** Soil heat flux, thermal conductivity, temperature gradient

<sup>1</sup> Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor. Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá, MT.

<sup>2</sup> Doutorando(s) do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, UFMT, Cuiabá, MT. E-mail: jonathan@pgfa.ufmt.br; jonathanwillian\_11@hotmail.com; thiagorangel@pgfa.ufmt.br; leone@pgfa.ufmt.br; allan@pgfa.ufmt.br

<sup>3</sup> Profs. Drs. do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Instituto de Física, UFMT, Cuiabá, MT. E-mail: sergio@ufmt.br; nogueira@ufmt.br

\* Autor para correspondência

## Introdução

A formação geológica do pantanal compõe-se de grandes planícies e deltas aluviais na bacia do Paraguai, é um elo entre os biomas Amazônia, Cerrado, Chaco e Floresta Atlântica (AMADOR, 2006).

As zonas úmidas estão entre os ecossistemas mais frágeis e ameaçados do planeta, por estar sujeitas ao impacto das atividades humanas, tanto em terra quanto na água (GOPAL; JUNK, 2000).

A formação do Pantanal compõe-se de grandes planícies e deltas aluviais na bacia do Paraguai, apresentando um componente peculiar, tendo o clima caracterizado por períodos de cheia e seca, que se alternam durante o ano, proporcionando alagamentos da região, que se formam devido à dificuldade de drenagem do solo, contribuindo para a complexidade da vegetação pantaneira. Nos meses de abril a setembro, a estiagem provoca o rebaixamento das águas superficiais, causando estresse hídrico das plantas, regulando sua fenologia e produção de massa. No período de outubro a março, período das cheias, há um fluxo de águas das regiões mais elevadas do cerrado para as mais baixas do Pantanal, alimentando o volume de água aprisionado na região, devido a baixa declividade do local, as águas dos rios transbordam, sendo retidas temporariamente, provocando inundação e arraste de sedimentos.

Os Gleissolos Háplicos, solo do local do experimento, são solos minerais, hidromórficos, apresentando horizontes A (mineral) ou H (orgânico), seguido de um horizonte de cor cinzento-olivácea, esverdeado ou azulado, chamado Horizonte Glei, resultado de modificações sofridas pelos óxidos de ferro existentes no solo (redução) em condições de encharcamento durante o ano todo ou parte dele.

O horizonte Glei pode começar a 40 cm da superfície. São solos mal drenados, podendo apresentar textura bastante variável ao longo do perfil. Podem apresentar tanto argila de baixa atividade, quanto de alta atividade, são solos pobres

ou ricos em bases ou com teores de alumínio elevado. Como estão localizados em baixadas, próximas às drenagens, suas características são influenciadas pela contribuição de partículas provenientes dos solos das posições mais altas e da água de drenagem, uma vez que são formados em áreas de recepção ou trânsito de produtos transportados. (EMBRAPA, 1997).

Dos processos que permeiam o comportamento do solo, o conhecimento do fluxo de calor no solo torna-se necessário para a devida compreensão do comportamento de seus componentes, como a difusão dos solutos e dos gases, o desenvolvimento das plantas, como germinação de sementes (ZUCARELI, et. al., 2010), assimilação de águas e nutrientes pelas raízes, e a atividade dos microorganismos no solo, que dependem diretamente da propagação do calor, e o estudo de sua sazonalidade, para a análise da influência da água nessa propagação de calor.

A temperatura do solo é importante em outras áreas como no transporte de fluídos aquecidos em tubulações subterrâneas, no armazenamento de energia em leitos granulares, no resfriamento de condensadores em usinas termoelétricas e nucleares, na extração de petróleo, no armazenamento de rejeitos radiativos, no aterramento de cabos elétricos subterrâneos e na remediação de áreas degradadas utilizando-se do aquecimento do solo (PESSOA, 2006).

Portanto, o uso de cobertura sobre o solo pode alterar consideravelmente os comportamentos diários de sua temperatura, dependendo do material utilizado. Materiais transparentes e translúcidos proporcionam maior saldo de radiação na superfície e aumentam o fluxo de calor para o solo, enquanto que o uso de cobertura morta amortece a curva diária da temperatura do solo (GASPARIM et al., 2005). Segundo Pessoa (2006) com o aumento do teor de umidade no solo há um aumento da condutividade térmica do solo, pois a água que substitui o ar nos vazios possui maior condutividade térmica.

A variação do fluxo de calor no solo em ambientes florestais, normalmente é negligenciada em estudos de balanço de energia, devido aos baixos valores observados durante o dia, mas em pastagens esse componente não deve ser descartado, pois tem papel importante no fechamento do balanço de energia em função da maior amplitude diária (PRIANTE FILHO et al., 2004).

O estudo tem por objetivo realizar uma análise horária das propriedades térmicas do solo pantaneiro em condições sazonais de alagamento, levando em consideração a variação do conteúdo de água no solo.

## 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 (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.

O solo é classificado como GLEISSOLO HÁPLICO (EMBRAPA, 1997). O clima da região é do tipo Aw, que corresponde a invernos secos e verões chuvosos. A letra “A” corresponde à zona climática tropical úmida, ocupada pela categoria florística das megatermas, caracterizada por vegetação tropical com temperaturas e umidade relativa do ar sempre elevadas. A letra “w” corresponde, na região, a uma precipitação anual entre 1000 e 1500 mm, com total mensal médio do mês mais seco inferior a 40 mm. A temperatura anual média do ar na RPPN SESC – Pantanal oscila entre 22°C e 32°C e a precipitação média anual entre 1100 e 1200 mm.

O fluxo de calor no solo foi determinado por um fluxímetro (Campbell HFT3 Soil Heat Flux

Plate) na profundidade de 0,05 m, e as temperaturas foram medidas na profundidade de 0,03 m e 0,07 m utilizando-se dois termistores modelo 108-L (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA). Os dados foram registrados um datalogger modelo CR 10X (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA) e uma placa multiplexadora modelo AM16/32A-ST-SW (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA).

A condutividade térmica  $K$  pode ser definida a partir da equação de Fourier, segundo a qual a densidade de fluxo de calor no solo  $q$  ( $W.m^{-2}$ ) é proporcional ao gradiente de temperatura na profundidade  $dT/dz$  ( $^{\circ}C.m^{-1}$ ) (CARSLAW; JAEGER, 1959), isto é:

$$q = -K \frac{dT}{dz} \quad \text{Equação (1)}$$

$$K = -\frac{q}{dT/dz} \quad \text{Equação (2)}$$

$q$  = densidade de fluxo de calor no solo ( $W.m^{-2}$ )

$dT/dz$  = gradiente de temperatura no solo ( $^{\circ}C.m^{-1}$ )

$K$  = condutividade térmica do solo ( $W.m^{-1}.^{\circ}C$ )

Para estimar a condutividade térmica do solo, utilizaram-se dados coletados entre os anos de 2008 e 2009, sendo de abril a setembro de 2008 o período de seca, e de outubro de 2008 a março de 2009 o período chuvoso.

Para a análise horária, foram calculadas médias do fluxo de calor, condutividade térmica e gradiente térmico a cada 15 minutos. Então, calculou-se médias para cada 15 minutos de todos os dias do período obtendo um valor para o fluxo de calor no solo, para a condutividade térmica e gradiente de temperatura, gerando um dia idealizado que representasse todo o período.

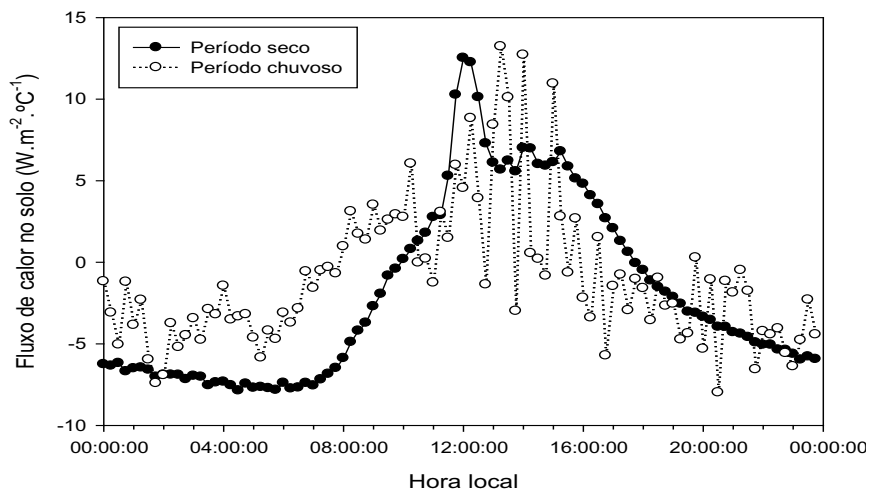
## Resultados e Discussão

A análise da variação dos componentes do fluxo de calor no solo durante um dia nos permite inferir a respeito da dinâmica térmica do solo pantaneiro. Dessa forma pode-se discutir sobre como as

propriedades térmicas do solo variam no período de um dia.

A média diária do fluxo de calor no solo apresentou variação entre os períodos, conforme a Figura 1.

**Figura 1.** Média horária do fluxo de calor no solo entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m nos períodos seco e chuvoso.

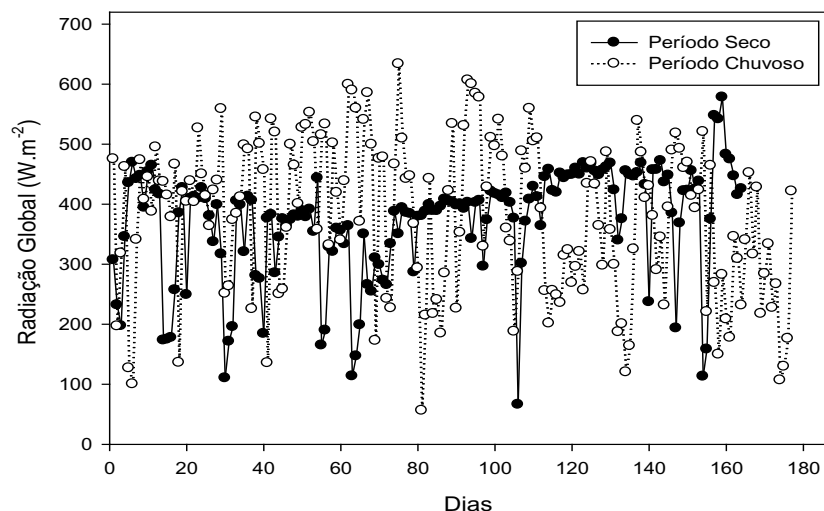


Fonte: Elaboração dos autores.

As médias do período seco apresentaram uma menor variação a cada 15 minutos, percebendo-se uma linearidade no gráfico. Como o solo está seco, o fluxo de calor no decorrer dos dias em determinado horário é similar, gerando valores médios parecidos, gerando a linearidade observada.

O gráfico do período chuvoso não é linear quanto ao do período seco, apresentando maior variabilidade, causados pela presença variável de água no solo, fazendo com que os valores médios apresentem uma maior amplitude. A não linearidade desse fluxo também é um reflexo da maior variação da radiação

global que atinge a superfície nesse período, conforme Figura 2, visto que, a maior incidência de chuva causa dias mais nublados e, portanto, com variações mais abruptas na radiação global incidente, que interfere diretamente na temperatura do solo e como consequência na maior variabilidade do fluxo de calor, caso que praticamente não se verifica no período seco, com os dias sem chuva e o céu claro durante o dia todo faz com que haja regularidade na radiação que chega a superfície e isso causa um padrão mais comportado na temperatura e no fluxo de calor no solo.

**Figura 2.** Variabilidade sazonal da radiação global nos períodos seco e chuvoso.

Fonte: Elaboração dos autores.

Aproximadamente a partir das seis horas da manhã, quando o solo começa a receber a energia solar, pode-se perceber em ambos os períodos que o valor do fluxo de calor aumentar, até atingir seu pico por volta das doze horas no período seco, e cerca de treze horas no período chuvoso. Essa diferença de uma hora entre os maiores valores dos períodos deve-se a diferença do calor específico do ar e da água. Como o ar possui calor específico menor do que o da água, aproximadamente  $0,241 \text{ cal.g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  para o ar e  $1 \text{ cal.g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  para a água, a camada superior do solo no período seco aquecer-se-á mais rapidamente, ocasionando um maior gradiente de temperatura, fazendo o maior valor do fluxo de calor no solo coincidir com o horário de maior incidência de radiação, às 12 horas, explicando a defasagem de uma hora entre os períodos.

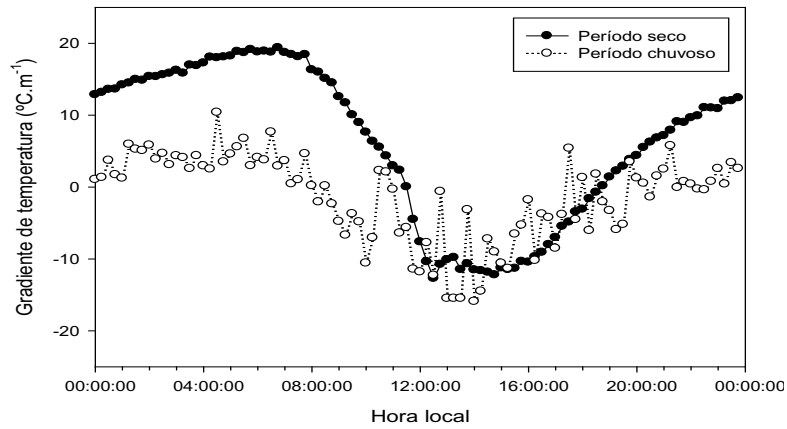
O período seco coincide com o período que o Hemisfério Sul recebe menos radiação solar, fazendo com que a energia disponível para o meio seja menor que os valores do período chuvoso, conforme Figura 3.

A dificuldade do solo seco em conduzir o calor proporcionou uma maior amplitude do gradiente térmico, uma vez que a camada superior aquecia-se mais rapidamente que o tempo que o pulso de calor levava para aquecer a camada à  $0,07\text{m}$ . Assim seu valor máximo positivo foi  $19,37 \text{ } ^\circ\text{C.m}^{-1}$  e o máximo negativo igual a  $-12,72 \text{ } ^\circ\text{C.m}^{-1}$ , havendo uma amplitude de  $32,09 \text{ } ^\circ\text{C.m}^{-1}$ . O vetor gradiente de temperatura sempre aponta o sentido inverso do fluxo de calor no solo. Logo os maiores valores negativos do gradiente de temperatura coincidem com o maior valor positivo do fluxo de calor no solo.

O período chuvoso apresenta menor variabilidade do gradiente de temperatura (Figura 3) ao longo do dia, tendo menor amplitude que o período seco. Seu valor máximo positivo foi de  $10,39 \text{ } ^\circ\text{C.m}^{-1}$  e o máximo negativo como  $-15,92 \text{ } ^\circ\text{C.m}^{-1}$ , tendo uma amplitude de  $26,30 \text{ } ^\circ\text{C.m}^{-1}$ .

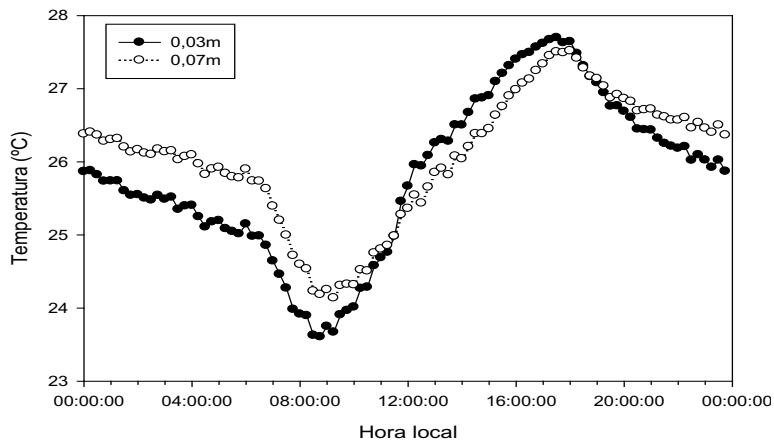
As variações do gradiente de temperatura podem ser melhor visualizadas de acordo com a Figuras 4 e 5, que apresentam as temperaturas nas profundidades  $0,03\text{m}$  e  $0,07\text{m}$ .

**Figura 3.** Média horária do gradiente de temperatura do solo entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m nos períodos seco e chuvoso.



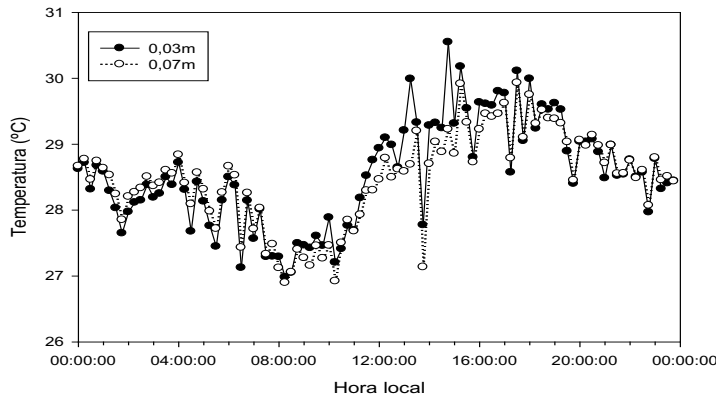
Fonte: Elaboração dos autores.

**Figura 4.** Média horária das temperaturas do solo entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m no período seco.



Fonte: Elaboração dos autores.

**Figura 5.** Média horária das temperaturas do solo entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m no período chuvoso.



Fonte: Elaboração dos autores.



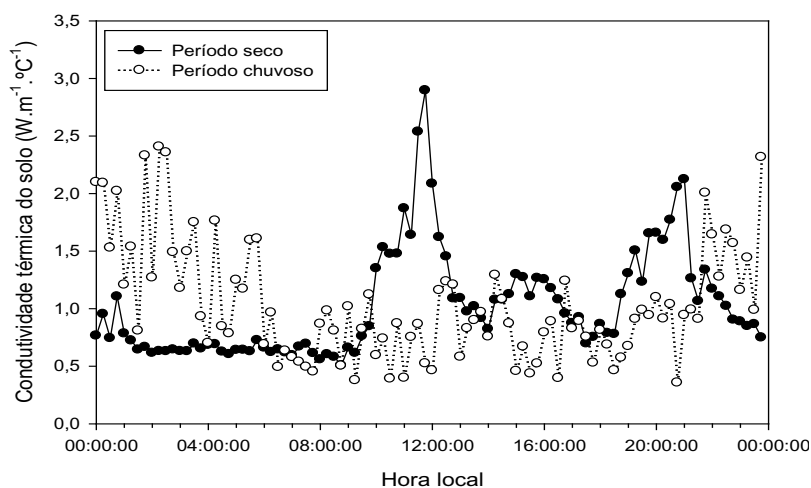
Por volta das sete horas, com o início da radiação solar, a camada superior do solo começa a aquecer-se, fazendo com que a temperatura à profundidade 0,03m seja maior do que a temperatura da profundidade 0,07m, permanecendo maior até aproximadamente 18 horas. Esta variação é mais visível no período seco, que possui um gradiente de temperatura mais linear que o chuvoso.

O pico de maior temperatura no período seco ocorre por volta das 16 horas.

Os valores de condutividade térmica variam no decorrer do dia, no período seco, devido ao maior gradiente de temperatura, o que resulta num grande aumento da condutividade por volta das doze horas, conforme mostrada na Figura 6.

O período chuvoso apresenta um gradiente de temperatura com menores variações do que o período seco, conforme a Figura 6, acarretando uma menor variação nos valores de condutividade térmica.

**Figura 6.** Média horária da condutividade térmica do solo entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m nos períodos seco e chuvoso.



Fonte: Elaboração dos autores.

Quando possuem a mesma umidade, os solos argilosos apresentam menor condutividade térmica que os solos arenosos, mostrando que a densidade também influencia os valores de condutividade térmica. Da mesma forma, para um mesmo solo, com a mesma densidade, ao ser aumentado o teor de água, aumenta-se a condutividade térmica (ABU-HAMDEH et al., 2001)

## Conclusões

Na análise da variação diária dos componentes da equação de Fourier, foi observada uma diferença de cerca de uma hora nos maiores valores de fluxo

de calor no solo, no período seco ocorrendo por volta de 12 horas, e no período chuvoso ocorrendo por volta das 13 horas.

A presença da água também influenciou os valores do gradiente térmico, onde o período chuvoso teve menores médias do gradiente que o período seco. O período seco teve seu valor máximo positivo de  $19,37 \text{ }^\circ\text{C.m}^{-1}$  e o máximo negativo como  $-12,72 \text{ }^\circ\text{C.m}^{-1}$ , tendo uma amplitude de  $32,09 \text{ }^\circ\text{C.m}^{-1}$ . O período chuvoso registrou menor amplitude que o período seco. Seu valor máximo positivo foi de  $10,39 \text{ }^\circ\text{C.m}^{-1}$  e o máximo negativo como  $-15,92 \text{ }^\circ\text{C.m}^{-1}$ , tendo uma amplitude de  $26,30 \text{ }^\circ\text{C.m}^{-1}$ .

A condutividade térmica apresentou diferença entre os períodos; porém, no período seco, devido ao maior gradiente de temperatura, observou-se um aumento da condutividade térmica por volta das doze horas, horário de maior incidência de radiação.

O período chuvoso apresenta um gradiente de temperatura com menores variações do que aquelas observadas no período seco, acarretando uma menor variação nos valores de condutividade térmica.

## 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

- ABU-HAMDEH, N. H.; KHDAIR, A. I.; REEDER, R. C. A. Comparison of two methods used to evaluate thermal conductivity for some soils. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 44, n. 5, p. 1073-1078, 2001.
- AMADOR, G. A. *Composição florística e caracterização estrutural de duas áreas de Carandazais nas sub-regiões do Miranda e Nabileque, Pantanal Sul Mato-Grossense, Brasil*. 2006. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Mato Grosso do Sul.
- CARSLAW, H. S.; JAEGER, J. C. *Conduction of heat in solids*. Londres: Oxford University Press, 1959. 638 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em solos. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.
- GASPARIM, E.; RICIÉR, R. P.; SILVA, S. L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 1, n. 1, p. 107-115, 2005.
- GOPAL, B.; JUNK, W. J. Biodiversity in wetlands: an introduction. In: GOPAL, B.; JUNK, W. J.; DAVIS, J. A. (Ed.). *Biodiversity in wetlands: assessment, function and conservation*. Leiden: Backhuys Publishers B.V., 2000. v. 1, p. 1-10.
- PESSOA, T. O. A. *Avaliação da influência da mineralogia, índice de vazios e teor de umidade em propriedades térmicas de solos*. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G. L.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; NUNES, P. C.; SOUZA, L. S.; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J. L.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; FRITZEN, C. L.; LACERDA, M.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S.; SULI, G. S.; SHIRAIWA, S.; PAULO, S. R.; 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, n. 5, p. 863-876, 2004.
- ZUCARELI, V.; AMARO, A. C. E.; SILVÉRIO, E. V.; FERREIRA, G. Métodos de superação da dormência e temperatura na germinação de sementes de *Dioclea violácea*. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, p. 1305-1312, 2010. Suplemento 1.