

## Determinação in loco da difusividade térmica em um solo da região norte do Pantanal

Rayanna de Oliveira Costa <sup>1</sup>  
João Basso Marques <sup>1</sup>  
José de Souza Nogueira <sup>1</sup>  
Rafael da Silva Palácios<sup>1</sup>  
Lúcio Gonçalves Barbosa de Oliveira <sup>1</sup>  
Lucas Douglas Rothmund<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental - PGFA

Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367

Cidade Universitária, Bloco de Física Ambiental

Cep: 78060-900 - Cuiabá - MT

{rayanna.oli.costa, jbassofisico, parananogueira, rafael.pgfa, luciogboliveira} @gmail.com  
douglas\_rothmund@outlook.com

**Resumo.** A demanda por dados de propriedades térmicas do solo, especialmente em função do teor de água, está aumentando devido a melhorias e aplicações mais amplas dos modelos de transporte de calor e água do solo. Um estudo preliminar detalhado sobre transferências de calor e água no complexo solo – vegetação – atmosfera, em uma região do pantanal matogrossense, mostrou que o comportamento termodinâmico do solo exerce papel fundamental no processo de evaporação do solo e nos fluxos de calor sensível. Este trabalho objetivou mostrar como a difusividade térmica do solo in loco foi determinada. Três métodos diferentes, embasados sobre hipóteses bem distintas, foram utilizados, e os seus resultados foram comparados. A umidade do solo foi medida por uma sonda TDR devidamente calibrada.

**Palavras-chave:** Temperatura do solo, difusividade do solo, alagamento do Pantanal.

**Abstract.** The demand for soil thermal data, especially as a function of water content, is increasing due to improvements and wider applications of soil and water transport models. A detailed experimental study on heat and water transfer in the soil - vegetation - atmosphere complex, in a region of the Pantanal of Mato Grosso, showed that the thermodynamic behavior of the soil plays a fundamental role in the process of soil evaporation and sensible heat fluxes. This work aimed to show how the thermal diffusivity of the soil in loco was determined. Three different methods, based on very different hypotheses, were used, and their results were compared. Soil moisture was measured by a properly calibrated TDR probe.

**Keywords:** Soil temperature, soil diffusivity, Pantanal flooding.

## 1. Introdução

O Pantanal é uma das maiores planícies de inundação do mundo e é um bom exemplo da complexidade hidrológica das zonas alagadas (Da Silva e Girard, 2004; Junk et al., 2006; Fantin-Cruz et al, 2008). Sendo também um dos maiores sistemas de áreas úmidas tropicais, cobrindo uma área de cerca de 140.000 km<sup>2</sup> na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai, se estendendo por todo Oeste do Brasil e partes da Bolívia e do Paraguai, composto por uma gama de floresta tropical e cerrado. A vida animal e vegetal é fortemente influenciada por inundações sazonais, com máxima flutuação do nível de água de cinco metros entre o período seco e chuvoso. Os períodos de inundações são seguidos por seca extrema, com apenas uma pequena parcela do Pantanal inundado durante o restante do ano. O clima é caracterizado por períodos de cheia e seca que se alternam ao longo do ano, permitindo a formação de um período prolongado monodominante, devido às frequentes inundações e ao pobre local de drenagem do solo. (Bellaver, 2010; Leady e Gottgens, 2001).

Segundo Ab'Saber (1988) o Pantanal Mato-Grossense funciona como um notável inter espaço de transição e contato, comportando fortes penetrações de ecossistemas dos cerrados; uma participação significativa de floras chaquenas; inclusões de componentes amazônicos e pré-amazônicos; ao lado de ecossistemas aquáticos e subaquáticos de grande extensão nos "pantanaís", de suas grandes planícies de inundação.

A busca por informações derivadas da temperatura do solo é fundamental para um conhecimento detalhado da transferência de calor sob diferentes coberturas vegetais, além de explicar os vários processos químicos, físicos e biológicos nos diversos tipos de ecossistema existentes no planeta (Hillel, 2004). A temperatura do solo é uma propriedade de natureza física que influi diretamente em uma série de processos ambientais relacionados às plantas (Oliveira et al., 2015; Iamaguti et al., 2015).

Medições de temperatura em diferentes profundidades do solo são frequentemente realizadas em estações meteorológicas, no entanto, pouco se utiliza de tal acervo de dados (HILL, 2004). A variação da temperatura no tempo e em profundidade pode ser reconstruída, e até mesmo prevista sua mudança futura, por meio do conhecimento da dinâmica das propriedades térmicas do solo. Considerando que cada tipo possui característica específicas, é necessária uma avaliação de cada situação em particular para que sejam identificadas suas propriedades térmicas (Nicolson et al. 2009; Rao et al. 2005).

A difusividade térmica é uma das suas propriedades térmicas que fornece informação sobre a velocidade de avanço da frente de aquecimento do solo, parâmetro que relaciona a capacidade de condução (condutividade térmica) ao armazenamento de calor (capacidade térmica volumétrica) (Schoffel & Mendez, 2005). Ela indica a rapidez, em uma determinada profundidade, da mudança de temperatura quando o solo é exposto às variações de temperatura externas. Quanto maior é o valor da difusividade térmica, mais rápida será a difusão da energia térmica no material (Beber, 2006).

Neste contexto, percebe-se que o comportamento termodinâmico da vegetação e do solo apresenta grande importância. A difusividade térmica do solo varia com o tempo e espaço. Ela

depende, dentre outros fatores, da constituição, granulometria, densidade e estrutura do solo, propriedades estas que, na escala de tempo do experimento ou dos processos hidrológicos, não variam com o tempo, mas podem variar com a profundidade, e da umidade volumétrica do solo que varia rapidamente com o tempo, sobretudo nas camadas superficiais (DINIZ, et al., 2013).

Essas propriedades térmicas do solo, principalmente a difusividade térmica, são utilizadas em estudos de simulação da temperatura do solo em diferentes profundidades. O uso da simulação na estimativa da temperatura do solo possibilita conhecer a temperatura do solo ao longo do tempo e da profundidade. Além disso, permite a estimativa de difusividade quando não for possível a medida instrumental e ainda o uso de um modelo de simulação de temperatura do solo pode auxiliar na inferência de possíveis alterações na temperatura do solo em diferentes cenários. Para tanto, é necessário no mínimo medir a temperatura máxima, temperatura mínima e a temperatura média em duas profundidades diferentes no perfil do solo (Bellaver, 2010; Novais et al., 2012).

Diversos métodos foram publicados na literatura para determinar a difusividade térmica do solo (Passerat De Silans et. al., 2006; Jacobs e Verhoef, 1997;). Esses métodos são muito atrativos uma vez que apenas medidas de temperaturas são necessárias. Entretanto, eles são limitados para camadas uniformes de solo (Soares et al., 2014).

Essas propriedades térmicas do solo, principalmente a difusividade térmica, são utilizadas em estudos de simulação da temperatura do solo em diferentes profundidades. O uso da simulação na estimativa da temperatura do solo possibilita conhecer a temperatura do solo ao longo do tempo e da profundidade. Além disso, permite a estimativa de difusividade quando não for possível a medida instrumental e ainda o uso de um modelo de simulação de temperatura do solo pode auxiliar na inferência de possíveis alterações na temperatura do solo em diferentes cenários. Para tanto, é necessário no mínimo medir a temperatura máxima, temperatura mínima e a temperatura média em duas profundidades diferentes no perfil do solo (Bellaver, 2010; Novais et al., 2012).

## **2. Objetivo**

A fim de contribuir para o desenvolvimento dessa área científica o presente trabalho tem como objetivo o estudo do comportamento e das propriedades térmicas do solo (particularmente a difusividade térmica), a partir de dados de temperatura obtidos para uma região norte do Pantanal.

## **3. Material e Métodos**

### **3.1. Descrição da área de estudo**

O estudo foi conduzido no norte do Pantanal, Baía das Pedras (Base Avançada de Pesquisas do Pantanal), unidade que pertence à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC) - Pantanal, no município de Poconé, Mato Grosso, a cerca de 160 km de Cuiabá. A uma altitude de 111 m (Lat:16°39' S, Long:56°47' O), o clima é classificado como Aw-tropical úmido, segundo Köppen, quente e úmido com precipitação pluvial no verão. Na RPPN SESC Pantanal, a precipitação pluvial anual varia entre 1.000 e 1.500 mm, com máxima em janeiro e mínima em agosto. As temperaturas variam entre 23 °C com amplitude térmica de 5°C, com temperaturas médias de 27-28 °C em janeiro e de 22-23 °C em julho (Santos, 2015). Inundações seguem a estação chuvosa, no entanto, devido à paisagem plana, o padrão de inundação no interior do pantanal é fortemente influenciado pela precipitação local.

O solo da região é classificado como Gleissolo Háptico Ta Distrófico típico, ou seja, os solos desta classe apresentam mudança de textura abrupta com acentuada diferença de textura

do A para o horizonte B imediatamente subjacente, permeabilidade lenta ou muito lenta, profundidade de 150 cm e textura arenosa (Moreira e Vasconcelos, 2011).

### 3.2. Difusividade térmica do solo

A difusividade térmica do solo varia com o tempo e espaço. A fim de estimar a difusividade térmica considerou-se o solo um meio homogêneo, isotrópico, sem fontes ou sumidouros de calor, restringindo a análise apenas aos processos que ocorrem na direção vertical (TAVARES DINIZ et.al., 2014).

Segundo a literatura (De Vries, 1963; Horton et al., 1983; Passerat De Silans et al., 1996; Verhoef et al., 1996.), vários métodos têm sido utilizados com o objetivo de quantificar a difusividade térmica e, para tanto, utilizam dados de temperatura do solo em diferentes profundidades.

A equação unidimensional vertical da condução de calor no solo é dada por:

$$C \frac{\delta T}{\delta t} = -\frac{\delta}{\delta z} \left( -\lambda \frac{\delta T}{\delta z} \right) \quad 1$$

em que C é a capacidade calorífica do solo ( $\text{Jm}^{-3} \text{K}^{-1}$ ) e  $\lambda$ , a condutividade térmica aparente ( $\text{Wm}^{-1} \text{K}^{-1}$ ), T a temperatura do solo ( $^{\circ}\text{C}$ ), t tempo (s) e z a profundidade do solo (m). Admitindo que a capacidade calorífica não varia com a profundidade z, a equação (1) se torna:

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta z} \left( D \frac{\delta T}{\delta z} \right) \quad 2$$

em que D é a difusividade térmica aparente do solo ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ ). O termo aparente foi introduzido por De Vries (1963). Esse autor analisou em detalhe o processo de transferência de calor no solo e mostrou que, além de um processo essencialmente condutivo pelos contatos físicos entre as fases sólida, líquida e gasosa, nos espaços intraporais, existe transferência de calor por convecção associada a processos de evaporação-condensação (PASSERAT DE SILANS et al., 2006).

Neste trabalho, os métodos amplitude (A), arco tangente (AT) e logarítmico (LG), são utilizados e descritos a seguir. As temperaturas do solo foram registradas a cada minuto (hora local). Fez-se a média horária para cada dia. A difusividade térmica do solo foi estimada diariamente entre as profundidades de 0,01 e 0,03 m, 0,01 e 0,07 m, 0,01 e 0,15 m e 0,01 e 0,30 m pelos métodos da amplitude, do arco tangente e do logarítmico.

Com o intuito de estimar a magnitude dessa grandeza física, utilizamos metodologia como:

#### i) O método amplitude (A)

$$D = \left( \frac{\omega}{2} \right) \left[ \frac{z_2 - z_1}{\ln \left( \frac{A_1}{A_2} \right)} \right]^2 \quad 3$$

onde,  $\omega$  é a frequência angular ( $7,27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ ),  $A_1$  e  $A_2$  são as amplitudes (diferença entre a temperatura máxima do dia e a média diária) da onda de temperatura nas profundidades  $z_1$  e  $z_2$ , respectivamente.

#### ii) O método arco tangente (AT)

A temperatura do solo a nível da superfície pode ser descrita por uma série de senos.

$$D = \frac{\omega(z_2 - z_1)^2}{2 \arctan \left[ \frac{(T_1 - T_3)(T_2' - T_4')}{(T_1 - T_3)(T_1' - T_3')} + \frac{(T_2 - T_4)(T_1' - T_3')}{(T_2 - T_4)(T_2' - T_4')} \right]^2} \quad 4$$

onde  $T_1, T_2, T_3$  e  $T_4$  são as temperaturas registradas na profundidade  $z_1$  e  $T_1', T_2', T_3'$  e  $T_4'$  são as temperaturas registradas na profundidade  $z_2$ , em intervalos de 6 em 6 h (0h, 6h, 12h e 18h).

#### iv) O método logarítmico (LG)

$$D = \left[ \frac{0,121(z_2 - z_1)}{\ln \left[ \frac{(T_1 - T_3)^2}{(T_1' - T_3')^2} + \frac{(T_2 - T_4)^2}{(T_2' - T_4')^2} \right]} \right]^2 \quad 5$$

Onde  $z_1$  corresponde a profundidade 0,01 m e  $z_2$  são respectivamente as profundidades de 0,03 m, de 0,07 m, de 0,15 m e 0,30 m e onde  $T_1, T_2, T_3$  e  $T_4$  e  $T_1', T_2', T_3'$  e  $T_4'$  utilizam os mesmos procedimentos de arco tangente.

Na utilização destes métodos, considera-se a hipótese de que a difusividade térmica é, ao longo de um período, constante no tempo e na vertical, até uma profundidade teoricamente infinita. Assim, o perfil inicial não apresenta mais influência sobre os perfis verticais de temperatura nos períodos estudados. Teoricamente, este fato admite ser a temperatura média diária a mesma em todas as profundidades (PASSERAT DE SILANS et al., 2006).

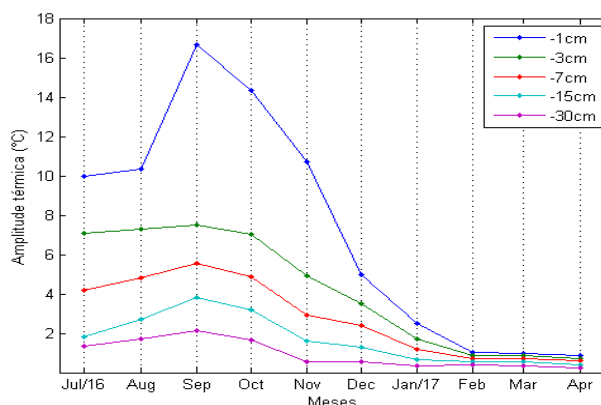
#### 4. Resultados e Discussão

Uma análise inicial foi efetuada sobre a distribuição das temperaturas no solo durante o período de aproximadamente um ano. Durante o período de pesquisa, podemos dividir em dois períodos, um período de estação seca pronunciada de maio a setembro e uma estação chuvosa de outubro a abril (SANCHES et al, 2010). A figura 1 apresenta a evolução das amplitudes das temperaturas do solo na superfície e nas profundidades de 0,01, 0,03, 0,07, 0,15 e 0,30 m.

Verifica-se que o comportamento térmico do solo observado em ambos os períodos seco e chuvoso se diferem. As amplitudes mais elevadas observadas em todo o perfil vertical foram aquelas oriundas do mês setembro. Para todo o período de análise as máximas foram registradas nos meses de setembro e outubro, alcançando valores próximos de 16,11°C (amplitude referente a profundidade de 0,01m). Por outro lado, as mínimas foram observadas em torno dos meses de fevereiro a abril, sendo registrados valores próximos dos 1,25°C (amplitude referente a profundidade de 0,01m).

Observou-se que a amplitude térmica na profundidade de 0,30 m mostrou-se quase constante, evidenciando que a onda de temperatura na superfície penetrou vagarosamente no solo. Da mesma forma, as temperaturas nas profundidades de 0,07 e 0,15 m sofriam, em relação à temperatura na superfície, um forte amortecimento.

O responsável por essa diferença enorme nas amplitudes entre os períodos de seca e chuvoso, se dá devido a precipitação típica dessa região, onde os níveis dos rios e lagos sobem e inundam a região. Segundo Tavares Diniz et al.(2014) a precipitação pluvial é capaz de alterar significativamente o comportamento térmico diário do solo e que na ausência deste fenômeno, verifica-se que os ciclos térmicos diários são bastante semelhantes, divergindo basicamente quanto às magnitudes das temperaturas. Ou seja, à medida que a onda de calor se difunde no solo, sua amplitude é diminuída em função da atenuação da radiação, que anteriormente chegou na superfície, e do conteúdo de água no solo que influencia significativamente nas profundezas do solo, como se observa na figura 1.



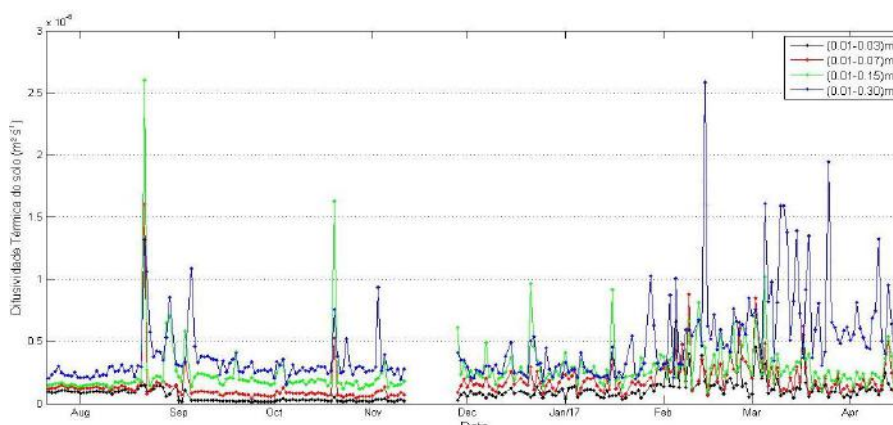
**Figura 1** - Amplitude térmica mensal de todo o período estudado.

Para estimar a difusividade térmica diária foram utilizados os dados de temperatura. Esta grandeza foi estimada através de três métodos distintos para quatro camadas, entre as profundidades do solo, sendo camada 1(0,01-0,03m), camada 2(0,01-0,07m), camada 3(0,01-0,15m) e camada 4(0,01-0,30m). Cada método usa um critério na estimativa da difusividade térmica, o qual geram valores diferentes. Neste trabalho, as estimativas da difusividade térmica do solo encontradas, estão de acordo com aquelas obtidas por Bellaver (2010), Oliveira et al. (2010), Diniz et al. (2014), Soares et al. (2014). Nas figuras 2, 3 e 4 estão representados os valores obtidos a partir de dados coletados ao longo do ano de 2016 e 2017, respectivamente.

Devido à ordem de grandeza dos valores as “pequenas” divergências não comprometem as metodologias, contudo, se faz necessário que os estudos a respeito dessa temática continuem sendo realizados na busca de desenvolver novas metodologias e aprimorar as já existentes.

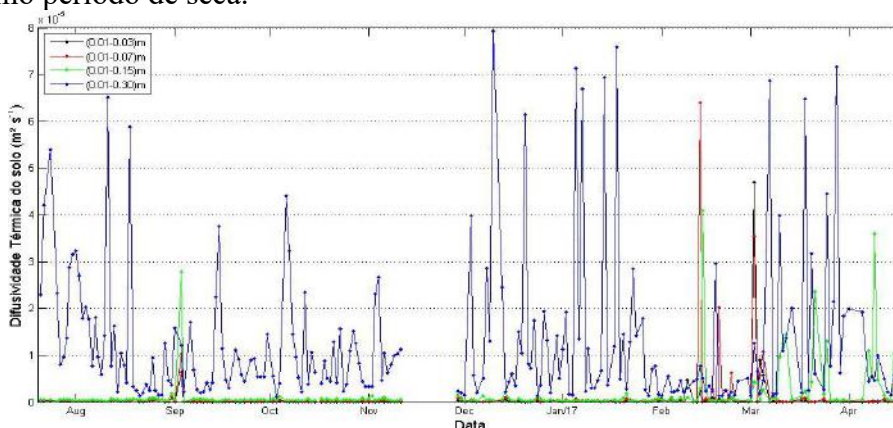
Ao analisarmos a figura 2 podemos verificar que os valores da difusividade para as camadas mais profundas possuem valores maiores do que é observado nas camadas mais superficiais tanto para o período de seca como para o período chuvoso (inundação). Para o período de seca observamos os menores valores de difusividade térmica registrados ocorrem em setembro e observamos os maiores valores de difusividade térmica para os meses de fevereiro e março. Com relação à camada 1 os valores da difusividade foram os menores valores encontrados o que difere da camada 4 onde os maiores valores foram encontrados. Ao observamos o período recorrente das inundações, verificasse um aumento da difusividade na camada mais profunda.

Segundo Bellaver (2010) para cada camada estudada, o solo se apresenta com uma composição diferente, assim, influencia na retenção de água. A parte argilosa retém mais água que a arenosa, interferindo nos valores da difusividade térmica. E segundo os estudos de Novais et al. (2012) ele afirma que esse comportamento é devido ao tipo de solo, Gleissolos Háplicos, que 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. 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.



**Figura 2** – Difusividade térmica diária do solo calculada pelo método da amplitude para os anos de 2016 e 2017.

No método da amplitude (figura 2) as difusividades térmicas foram praticamente iguais para as camadas 1 e 2 em todos os dias do período de seca, para o período de inundação as camadas 1 e 2 já não são semelhantes, como observamos nos meses de fevereiro e março onde em muitos dias desse período os valores a 1cm são maiores que os valores encontrados a 3cm. Isto se justifica, pois, esses meses se encontram no período de alagamento da região, onde conteúdo de água no solo aumentou e uma lâmina d'água é formada e permanece nessa região até o próximo período de seca.



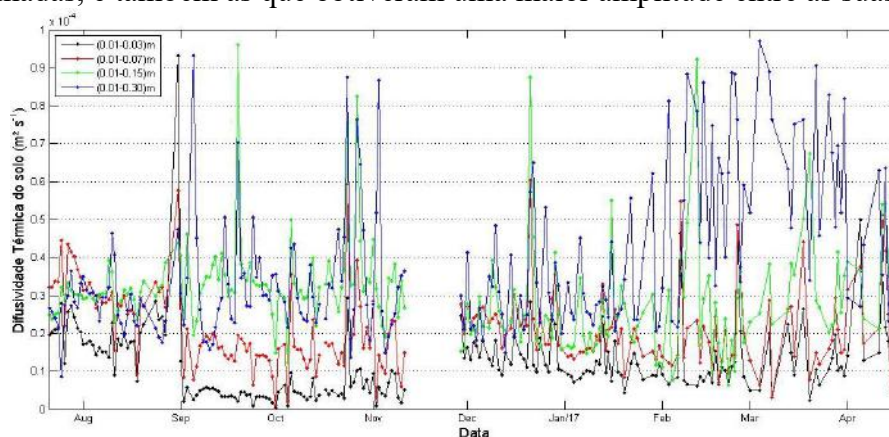
**Figura 3** - Difusividade térmica diária do solo calculada pelo método do arco tangente para os anos de 2016 e 2017.

O método arco tangente (figura 3) apresentou valores da difusividade térmica na mesma ordem de grandeza que o método da amplitude, com exceção da camada 4 onde valores muito altos ocorreram em relação as demais camadas encontradas por esse método, na qual valores superestimados em todos os dias selecionados foram encontrados. Para as camadas 1 e 3 o comportamento térmico são semelhantes, onde os aumentos e as diminuições seguem-se para os mesmos dias, o que difere das camadas 3 e 4 onde o oposto pode se verificar durante os dois períodos. Os valores encontrados por meio desse método foram valores maiores do que foi obtido pelo método da amplitude em todas as camadas. Nesse mesmo método o valor da difusividade térmica diária nos primeiros 0,15 m do solo é maior do que o método da amplitude, porém dentro dos padrões da literatura, mas ao analisar a última camada 4, os valores da difusividade térmica diária ficam superestimados.

No método do logarítmico (figura 4) as difusividades térmicas apresentaram comportamentos semelhante às difusividades térmicas encontradas pelo método da amplitude e pelo método do arco tangente. Esse método melhor se aplica para as camadas mais superficiais

(camada 1 e 3) pois os valores encontrados ao longo do período estudado não diverge tanto de um dia para outro, o que não se observa nas camadas mais profundas (camadas 3 e 4) onde os valores de difusividade térmica encontrados divergem muitos de um dia para outro. Esse fenômeno observado talvez possa ser explicado pela metodologia usada, pois esse método consiste em usar a temperatura de quatro horários diferentes ao longo do dia, sendo esses horários 0h, 6h, 12h e 18h.

Para as camadas 1 e 2 do método logarítmico, o comportamento térmico é semelhantes, com os aumentos e as diminuições seguindo-se nos mesmos dias, ou seja, quando a difusividade térmica aumenta para um determinado dia, essas duas camadas aumentam e se diminui as mesmas também diminuem, o que difere das camadas 3 e 4 onde o oposto pode ser observado durante os dois períodos. Se durante o dia a camada 3 aumento seu valor oposto pode ser observado na camada 4, que ocorreu uma diminuição. Os valores encontrados por meio desse método foram valores maiores do que foi obtido pelo método da amplitude e arco tangente em todas as camadas, e também as que obtiveram uma maior amplitude entre as suas camadas.



**Figura 4** - Difusividade térmica diária do solo calculada pelo método do logarítmico para os anos de 2016 e 2017.

## 5. Conclusões

A partir da análise dos resultados verificou-se a consistência das metodologias destinadas à estimativa da difusividade térmica do solo. Os valores da difusividade térmica do solo estimados pelos três métodos neste trabalho, assemelham-se aos valores encontrados nas literaturas, encontrando mesma ordem de grandeza a obtidos em outros estudos.

O modelo de estimativa da difusividade térmica, tanto pelo método da amplitude como pelo método do arco tangente, apresentou maior coerência nas camadas mais superficiais, para os períodos estudados, o que difere para o método do logarítmico, onde os valores encontrados supra estimam os valores presentes nas literaturas.

A diferença entre as estimativas pelos diferentes métodos evidencia a necessidade de mais estudos sobre o real valor da difusividade térmica do solo e sua relação com o conteúdo de água no solo.

## 6. Agradecimento

Um agradecimento a CAPES/CNPq, pelo financiamento do estudo experimental, um agradecimento também ao grupo de instrumentação do PPGFA, pela visita ao experimento e discussões, que possibilitaram a realização desse trabalho.

## 7. Referências

Ab'saber, A. N. O Pantanal Mato-Grossense e a Teoria dos Refúgios. **Revista Brasileira de Geografia**, n. 50, número especial 1-2. p. 09-57. Rio de Janeiro, 1988.



- Beber, L. C. C. **Determinação da Difusividade Térmica de Solos do Tipo Latossolo Vermelho em Função do Teor de Umidade**. Dissertação de Mestrado. UNIJUI, Ijuí, 2006.
- Bellaver, V. **Difusividade térmica do solo em área monodominante de cambará no norte do Pantanal Matogrossense**. 2010. Tese de Doutorado. M. Sc. Thesis, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.
- Carneiro, R. G.; Moura, M. A. L.; Silva, V. P. R.; Silva Junior, R. S.; Andrade, A. M. D.; Santos, A. B. Variabilidade da temperatura do solo em função da liteira em fragmento remanescente de mata atlântica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 99-108, 2014.
- Da Silva, C. J.; GIRARD P. New challenges in the management of the Brazilian Pantanal and catchment area. *Wetlands Ecology and Management* 12: 553–561, 2004.
- De Vries, D.A. Thermal properties of soil. In: WIJK, W.R. van, ed. *Physics of plant environment*. Amsterdam, North Holland, 1963. p.210-235.0
- Diniz, J. M.T. et al. Avaliação da difusividade térmica do solo de Campina Grande-PB-Brasil. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 55-60, 2013.
- Diniz, J. M. T.; TARGINO DANTAS, Renilson; FIDELES FILHO, José. Variabilidade espaço-temporal da temperatura e difusividade térmica do solo de Lagoa Seca-PB. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 9 (4): 722-736, 2014.
- Fantin-Cruz, I.; Loverde-Oliveira S. M.; Girard P. Morphometric characterization and its limnological implications in Northern Pantanal lakes. **Acta Scientiarum Biological Sciences**. V. 30: 133–140, 2008.
- Hillel, D. **Introduction to environmental soil physics**. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2004. 494p
- Horton, R.; Wierenga, P.J. & Nielsen, D.R. Evaluation of methods for determining apparent thermal diffusivity of soil near the surface. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 47:23-32, 1983.
- Iamaguti, J. L. et al. Preparo do solo e emissão de CO<sub>2</sub>, temperatura e umidade do solo em área canavieira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 497-504, 2015.
- Jacobs, A.F.G. & Verhoef, A. Soil evaporation from sparse natural vegetation estimated from Sherwood Numbers. *J. Hydrol.*, 188-189:443-452, 1997.
- Junk, W. J.; Cunha, C. N.; Wantzen, K. M.; Petermann, P.; Strüssmann, C.; Marques, M. I.; Adis, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**. V. 68, 278-309, 2006.
- Leady, B. S.; Gottgens, J. S. Mercury accumulation in sediment cores and long food chains in two regions of the Brazilian Pantanal. **Wetlands Ecology and Management**, v. 9, n. 4, 349-361, 2001.
- Moreira, M. L. C.; Vasconcelos, T.N.N. **Mato Grosso: solos e paisagens**. Cuiabá: Entrelinhas, 2011.
- Nicolsky, D.J.; Romanovsky, V.E.; Pantellev, G.G. Estimation of soil thermal properties using in-situ temperature measurements in the active layer and permafrost. *Cold Regions Science and Technology*, v.55, p.120–129, 2009
- Novais, J. W. Z.. **Dinâmica geotérmica do solo de uma floresta de cambarás no pantanal mato-grossense**, Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso. Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, 2011.
- Novais, J. W. Z. et al. Variabilidade sazonal horária das propriedades térmicas em gleissolo háplico no norte do pantanal. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, 2012.
- Oliveira, D. B.; Neto, N. A. A.; Soares, W. A. Estimativas da difusividade térmica e do fluxo de calor de um solo no agreste Pernambucano. **Rev Bras Geogr Fis**, v. 8, p. 1053-67, 2015.
- Passerat De Silans, A. M. B.; Monteny, Bruno; LHOMME, Jean-Paul. Apparent soil thermal diffusivity, a case study: HAPEX-Sahel experiment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 81, p. 201-216, 1996.
- Rao, T.V.R.; Silva, B.B.; Moreira, A.A. Características térmicas do solo em Salvador, BA. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p.554-559, 2005
- Santos, A. C.A.; Nogueira, J.S.. Análise do material particulado no Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 3, p. 254-264, 2015.
- Sanches, Luciana et al. Estimativa do coeficiente Priestley-Taylor em floresta monodominante cambarazal no pantanal. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 4, 2010.

Schöffel, E.R.; Mendes, M.E.G. Influência da cobertura sobre o perfil vertical de temperatura do solo. **In XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – Piracicaba. São Paulo, 2005.**

Soares, W. A.; Antonino, A. C. D. ; Lima, J. R. S.; Lira, C. A. B. O. 2014. Comparação de Seis Métodos para a Determinação da Difusividade Térmica de um Latossolo Amarelo. **Revista Brasileira de Geografia Física** 07, 146-154.

Verhoef, A. et al. Thermal soil properties for vineyard (EFEDA-I) and savanna (HAPEX-Sahel) sites. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 78, n. 1-2, p. 1-18, 1996.