

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**DINÂMICA GEOTÉRMICA  
DO SOLO DE UMA FLORESTA DE CAMBARÁS  
NO PANTANAL MATO-GROSSENSE**

**JONATHAN WILLIAN ZANGESKI NOVAIS**

**PROF. DR. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO  
ORIENTADOR**

Cuiabá, MT, Outubro de 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE FÍSICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**DINÂMICA GEOTÉRMICA  
DO SOLO DE UMA FLORESTA DE CAMBARÁS  
NO PANTANAL MATO-GROSSENSE**

**JONATHAN WILLIAN ZANGESKI NOVAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física Ambiental.

**PROF. DR. SÉRGIO ROBERTO DE PAULO**  
**ORIENTADOR**

Cuiabá, MT, Outubro de 2011

### Dados Internacionais de Catalogação na Fonte

N935d Novais, Jonathan Willian Zangeski.  
Dinâmica geotérmica do solo de uma floresta de cambarás no pantanal mato-grossense / Jonathan Willian Zangeski Novais, 2011. xv,54 f. ; 30 cm : color. (incluem figuras e tabelas)

Bibliografia: fs.47-54

Orientador: Sérgio Roberto de Paulo  
Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso. Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, 2011.

1. Solo – fluxo de calor. 2. Gradiente de temperatura. 3. Condutividade térmica. 4. Equação de Fourier. I.Título.

CDU 631.436(817.2)

**Catalogação na fonte: Maurício S.de Oliveira CRB/1-1860.**

Autorizo a reprodução deste trabalho

Cuiabá-MT, 10 de outubro de 2011

Jonathan Willian Zangeski Novais

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha esposa que esteve comigo nos altos e baixos desta caminhada rumo ao conhecimento.

## AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus, por ter me dado a oportunidade de aprender e evoluir sempre;
- A minha mãe que ficou sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis da minha vida, nunca me deixando sair do caminho do bem;
- Ao meu avô Osvaldo e minha avó Maria por sempre me incentivarem ao estudo;
- Ao meu pai que esteve comigo no período da graduação, sempre me proporcionando tudo o que eu precisasse para progredir em meus estudos;
- A minha irmã Thamiris à qual eu amo muito;
- A família da minha esposa que sempre esteve torcendo por mim em todas as minhas conquistas;
- Ao professor Serginho e Iramaia, pela amizade, orientação e por terem me ensinado a importância de ser um professor de física;
- Ao professor Paraná, por ser um grande amigo e orientador, tanto na vida quanto na pesquisa, e por ter me ensinado a importância de ser um pesquisador em física ambiental;
- A professora Marta, que muito auxiliou na metodologia deste trabalho;
- Aos queridos amigos Thiago Rangel e Leone Curado, que estão comigo desde a graduação, evoluindo junto comigo e que sem eles, não seria a metade do físico que sou hoje, e para o Allan, amigo muito especial que fiz aqui no mestrado;

- Aos amigos que fizeram disciplinas comigo no mestrado aqui na Física Ambiental, Adilson, André, Edson (Vovô), Márcia, Amanda, Thiago Ventura, Suzy, Wagner e Nadja;

- Ao professor Vicente Bellaver (*in memoriam*), cujo estudo sobre as propriedades térmicas do solo muito me ajudou nesta dissertação;

- Ao Cesário e Soilce, amigos sempre presentes nos acontecimentos da Física ambiental;

- A todos os professores que tive aqui no mestrado;

- Ao SESC Pantanal, onde foi realizado o estudo;

- Aos colegas cientistas ambientais que instalaram os equipamentos e coletaram os dados que deu origem a essa dissertação;

- À CAPES pelo auxílio financeiro;

## EPÍGRAFE

“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fosse por elas, eu não teria saído do lugar. As facilidades nos impedem de caminhar.”

Chico Xavier

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE EQUAÇÕES .....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. PROBLEMÁTICA .....	1
1.2. JUSTIFICATIVA .....	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1. O PANTANAL.....	4
2.2. O SOLO PANTANEIRO .....	5
2.3 FLUXO DE CALOR NO SOLO.....	7
2.4. CONTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS SOLOS.....	10
2.5. SALDO DE RADIAÇÃO E RADIAÇÃO GLOBAL.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	13
3.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL .....	13
3.2. MATERIAIS UTILIZADOS.....	15
3.3. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA PELA EQUAÇÃO DE FOURIER .....	18
3.4. PERÍODO DE ESTUDO E TRATAMENTO DOS DADOS .....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 ANÁLISE DA DINÂMICA TÉRMICA DO SOLO DO PANTANAL E SUA SAZONALIDADE .....	22
4.2 ANÁLISE HORÁRIA DOS COMPONENTES DA EQUAÇÃO DE FOURIER .....	33
5. CONCLUSÃO .....	45
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
7. REFERÊNCIAS CONSULTADAS .....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Solo gleissolo háplico pantaneiro.

Figura 2. Localização da área de estudo na RPPN SESC – Pantanal – Município de Barão de Melgaço – MT.

Figura 3. Foto da torre no Cambarazal

Figura 4. Saldo radiômetro

Figura 5. Termistores.

Figura 6. Fluxímetro

Figura 7. Sentidos do fluxo de calor no solo e do gradiente de temperatura de dia e de noite.

Figura 8. Condutividade térmica do solo, entre as profundidades 0,03m e 0,07m, no período transição chuvoso/seco, seco, transição seco/chuvoso e chuvoso, e precipitação acumulada mensal em mm.

Figura 9. Serrapilheira e material em decomposição sob o solo da floresta de Cambará – RPPN – SESC, Barão de Melgaço – MT.

Figura 10. Fluxo de calor no solo entre as profundidades na profundidade 0,05 m.

Figura 11. Saldo de radiação e fluxo de calor no solo na profundidade 0,05 m.

Figura 12. Gradiente de temperatura entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m.

Figura 13. Temperatura na profundidade 0,03 m

Figura 14. Temperatura na profundidade 0,07 m

Figura 15. Médias horárias do fluxo de calor no solo na profundidade 0,05 m.

Figura 16. Médias horárias do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo no período seco.

Figura 17. Média horárias do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo no período chuvoso.

Figura 18. Médias horárias do gradiente de temperatura entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m.

Figura 19. Regressão linear entre condutividade térmica e gradiente de temperatura no período seco.

Figura 20. Regressão linear entre condutividade térmica e gradiente de temperatura no período chuvoso.

Figura 21. Médias horárias de temperatura nas profundidades 0,03 m e 0,07 m.

Figura 22. Médias horárias da condutividade térmica entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios da condutividade térmica (K), fluxo de calor no solo (G), gradiente de temperatura ( $dT/dz$ ), temperatura a 0,03m (T 0,03), temperatura a 0,07m (T 0,07) e saldo de radiação (Rn), nos períodos de transição de chuvoso para seco, seco, transição de seco para chuvoso e chuvoso.

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Temperatura em função do tempo

Equação 2. Temperatura

Equação 3. Balanço de energia

Equação 4. Equação de Fourier

Equação 5. Equação de Fourier

Equação 6. Gradiente de uma propriedade escalar qualquer

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Rn – Saldo de Radiação

Rg – Radiação Global

LE – Densidade de fluxo de calor latente

H – Densidade de fluxo de calor sensível

G – Densidade de fluxo de calor no solo

RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural

K – Condutividade térmica

$dT/dz$  - Gradiente de temperatura no solo

## 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 necessários estudos que discutam suas propriedades, de forma a contribuir com o entendimento desse bioma. No presente trabalho buscou-se fazer um estudo da dinâmica térmica do solo Pantanal Mato-Grossense utilizando a equação de Fourier e analisar a influência da condutividade térmica e do gradiente térmico nos valores do fluxo de calor. Fez-se uma análise da variabilidade diária da condutividade térmica, do fluxo de calor no solo e do gradiente de temperatura. Analisou-se a sazonalidade das propriedades térmicas do solo, uma vez que há o período chuvoso e seco na região.

**Palavras Chaves:** Fluxo de calor no solo. Gradiente de Temperatura. Condutividade Térmica. Equação de Fourier.

## ABSTRACT

Research involving the thermal dynamics of the Pantanal soil has not been explored in order to have a better understanding of this dynamic in the region, making it necessary studies to discuss their properties to contribute to the understanding of this biome. Was made a study of soil thermal dynamics by Fourier`s Equation and analyze the influence of thermal conductivity and thermal gradient on the values of heat flow. There was an analysis of daily variability of thermal conductivity, heat flux and soil temperature gradient. It analyzed the seasonal variation of soil thermal properties, since there is the rainy season and dry in the region.

Keywords: Soil heat flux. Temperature gradient. Thermal conductivity. Fourier`s Equation.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. PROBLEMÁTICA

O crescimento demográfico e a urbanização vêm alterando as paisagens naturais, no qual as florestas vêm dando lugar ao cultivo agrícola e pastagens para suprir o consumo humano.

Dessa forma os impactos gerados pela ação antrópica ao meio ambiente vêm sendo amplamente discutidos no meio científico, a fim de se entender a dinâmica dos processos naturais inerentes aos ecossistemas e avaliar esse impacto, buscando soluções para o mesmo.

O Brasil possui uma rica biodiversidade, possuindo seis biomas, Mata Atlântica, Caatinga, Pampas, Amazônia, Cerrado e Pantanal, sendo parte dos três últimos localizam-se em Mato Grosso.

O Pantanal brasileiro tem cerca de 140.000 km<sup>2</sup>, dividindo-se entre Mato Grosso do Sul com 65% e Mato Grosso com 35%, ocupando a parte sul desse estado. Nos últimos anos vem se intensificando a urbanização e a criação de bovinos na região, e este avanço se dá à custa de desmatamento, que são dependentes da utilização do fogo para eliminar os restos de matéria orgânica resultante do corte e derrubada da mata local, ocasionando perda da matéria orgânica e alta concentração de dióxido de carbono no ar.

Assim em certas regiões, ocasiona processos de competições entre espécies, fazendo que certa espécie prevaleça sobre outra, como é o caso da monodominância do Cambará (*Vochysia Divergens*, Pohl) em relação aos campos.

Com a mudança da cobertura vegetal, causada pelo desmatamento e queimadas, pode estar ocorrendo variações no balanço de energia, efeito este que pode acarretar mudanças no microclima local. De acordo com estudos recentes, a cobertura vegetal exerce influência no fluxo de calor no solo e seus componentes.

O Pantanal está sujeito a cheias e secas sazonais, proporcionando ao seu microclima características peculiares, pois a água presente em longos períodos de inundação exerce influência nas trocas de energia entre a biosfera e a atmosfera da

região, desse modo, os fluxos de energia do solo podem ser afetados pela presença de água nos períodos de chuva e seca.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

Muitos são os fatores que influenciam o microclima de uma determinada região, como a localização, o balanço de energia, fluxo de CO<sub>2</sub>, intensidade e direção do vento, umidade do ar entre outros.

Das parcelas energéticas do balanço de energia, fluxo de calor latente, fluxo de calor sensível e fluxo de calor no solo, será abordado neste trabalho a parcela do fluxo de calor no solo, que influencia o clima do meio ambiente próximo à superfície do solo e abaixo do dossel, representando as entradas e saídas de energia no meio, contribuindo para os fluxos de calor latente e sensível, sendo um dos fatores importantes que controlam as atividades e os processos microbiológicos envolvidos na produção agrícola, sendo muitas vezes, inclusive mais importante do que a temperatura do ar para as diversas fases fenológicas das plantas e conseqüentemente para o crescimento, rendimento, qualidade e quantidade da produção agrícola.

Assim, a temperatura do solo é um dos fatores limitantes, e essenciais do crescimento vegetal. Ela afeta as três funções mais importantes do solo: a biologia, a química e a física, controlando conseqüentemente o poder produtivo de um solo.

O significado ecológico da temperatura do solo torna-se imprescindível para o desenvolvimento da vegetação, uma vez que se esta temperatura for desfavorável durante a estação de crescimento pode retardar seus estágios, uma vez que as reações químicas que liberam nutrientes para a planta aumentam com a temperatura do solo.

O conhecimento da dinâmica térmica do solo pantaneiro é imprescindível 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, assimilação de águas e nutrientes pelas raízes, e a atividade dos microrganismos no solo, que dependem diretamente da propagação do calor, assim como entender sua sazonalidade, observando como a água altera as interações da energia, da matéria e da vida na região.

O conhecimento da forma como cada solo conduz o calor para as camadas inferiores durante o dia, e superiores durante a noite é imprescindível, fazendo da determinação de sua condutividade térmica fator importante para a compreensão dessa dinâmica.

A complexa interação entre o solo, a vegetação e a atmosfera precisa ser entendida para melhorar as previsões meteorológicas e as respostas dos modelos hidrológicos e ecológicos, desse modo com o presente estudo, espera-se contribuir para ampliar o conhecimento científico desse bioma tão importante para o nosso estado.

Assim, tem-se como objetivo geral desta dissertação:

- Analisar a dinâmica térmica do solo do Pantanal mato-grossense;

E como objetivos específicos:

- Analisar a sazonalidade do valor da condutividade térmica do solo;
- Analisar a variação da densidade de fluxo de calor no solo levando em consideração o gradiente de temperatura;
- Discutir a influência da água nas variações da condutividade térmica, do fluxo de calor no solo e no gradiente de temperatura do solo.
- Estimar médias horárias dos componentes do fluxo de calor no solo, gradiente de temperatura e condutividade térmica.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. O PANTANAL

O Pantanal é um dos maiores planícies de inundação do mundo e é um bom exemplo da complexidade hidrológica das zonas alagadas (DA SILVA, 2000; GIRARD et al., 2003;. DA SILVA e GIRARD, 2004; JUNK et al., 2006;. FANTIN-CRUZ et al, 2008). O Pantanal é 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 são fortemente influenciadas 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 (LEADY & GOTTGENS 2001).

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 e 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.

Devido à pequena declividade do terreno, de 2 a 3 cm por quilômetro de norte a sul e de 5 a 25 cm de oeste para leste, as águas da inundação exigem cerca de 3 a 4 meses para passar pelo Pantanal (ALVARENGA et al., 1984). Portanto, o pulso de inundação na parte norte coincide com a época das chuvas, porém há uma defasagem de cerca de 3 meses entre o período chuvoso e à inundação na zona sul.

Dessa forma, as zonas alagadas estão entre os ecossistemas mais frágeis e ameaçados do planeta, por estarem sujeitas ao impacto das atividades humanas, tanto em terra quanto na água (GOPAL e JUNK, 2000).

## 2.2. O SOLO PANTANEIRO

O solo deve ser entendido como um sistema constituído por um meio poroso que apresenta uma fase sólida (partículas minerais e orgânicas), uma fase líquida (água e nutrientes ou solução do solo) e uma fase gasosa (ar do solo). No período chuvoso, estes poros com ar dão lugar a água que ocupa seu lugar. Este espaço poroso, preenchido com água e ar é de fundamental importância para a agricultura e florestas, pois destes processos dependem o escoamento superficial, a infiltração e redistribuição da água no solo e nos lençóis freáticos e as trocas gasosas que proporcionam condições adequadas ao desenvolvimento dos cultivos e a conservação do solo e das águas superficiais e subterrâneas.

O Pantanal localiza-se em baixadas, fazendo com que as características de seu solo sejam influenciados 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, tendo baixa taxa de drenagem e lençol freático elevado, próximo a superfície, podendo apresentar textura bastante variável ao longo do perfil.

Os solos de várzea compreendem solos que, apesar de grandes variações, apresentam uma característica comum, que é a formação em condições de hidromorfismo. A deficiente drenagem natural é, normalmente, motivada pelo relevo predominantemente plano, associado a um perfil cuja camada superficial é pouco profunda e a subsuperficial é praticamente impermeável (PAULETTO et al., 1999).

Associados aos aspectos de má drenagem, os solos hidromórficos apresentam em sua maioria, densidade naturalmente elevada, reduzida condutividade hidráulica, baixa velocidade de infiltração, relação micro/macroporos muito alta e baixa capacidade de armazenamento e disponibilidade de água às plantas na camada superficial (GOMES et al., 1992).

O solo pantaneiro apresenta limitações ao uso agrícola, principalmente, em relação à deficiência de oxigênio (pelo excesso de água), à baixa fertilidade e ao impedimento à mecanização, não se recomendando o uso nas áreas que ainda estão intactas e nas nascentes dos cursos d'água.

A característica do solo de reter água torna-se importante do ponto de vista da conservação do recurso água, pois drenagem dessas áreas pode comprometer o reservatório hídrico da região, já que a manutenção das várzeas é de suma importância para a perenização desses cursos d'água.

Os Gleissolos Háplicos 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 (FILIPOVÁ et al., 2010).



Figura 1. Solo gleissolo háptico pantaneiro (BELLAVÉR, 2009).

O horizonte Gleí 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).

## 2.3 FLUXO DE CALOR NO SOLO

Quando uma porção de certa substância é aquecida, o calor gerado pelo aquecimento tende a se propagar em todas as direções até que se atinja o equilíbrio térmico. Essa propagação de calor vai ser diferente, para diferentes de substâncias devido aos vários tipos de interações que podem ocorrer entre a matéria e a energia térmica (calor). Entre os processos físicos de propagação de calor, o que predomina no caso de substâncias sólidas, é a condução, no qual o mecanismo de propagação não altera fisicamente as propriedades da substância sólida. Nesse caso, o calor é transmitido por ondas originadas por vibração dos átomos que compõem a rede cristalina (TOULOUKIAN et al., 1973).

Trabalhos apresentando simulações do clima tiveram como resultado que a partição de energia na superfície é especialmente sensível à variação diurna na partição de energia em superfície (DICKINSON et al., 1991). O fluxo de calor sensível entre a atmosfera e o solo é determinada principalmente pela diferença de temperatura entre a superfície do solo e do ar imediatamente acima dele. Previsão da temperatura da superfície do solo, portanto, desempenha um papel importante nos modelos numéricos hidrológicos e atmosféricos (GAO et al., 2008).

O fluxo de calor para o solo representa a fração do saldo de radiação que foi transferida para os níveis inferiores do solo e, geralmente, resulta em acréscimo de energia para o meio à noite, ou em diminuição, no período diurno (GALVANI et al., 2001).

O conhecimento da variação do fluxo geotermal, induzido pela radiação solar, nas camadas mais superficiais é de suma importância para as Geociências, pois essas profundidades constituem-se palco principal de inúmeros processos geoquímicos, principalmente intemperismo e lateritização, como também, processos geofísicos, tais como mudanças nos valores da condutividade térmica e da difusividade térmica do material existente na zona de aeração. A importância da definição de que as variações diurnas da temperatura subsuperficial podem ou não ser consideradas desprezíveis à profundidade de 1,0 m se estende, na verdade, além das fronteiras de atuação das Geociências, pois abrangem profundidades de real interesse para as ciências biológicas, ambientais, florestais, agrônomicas etc. Tais profundidades constituem-se, ainda, em cenário fundamental para a biosfera, portanto, abrange, também, as ciências sociais (ARAUJO et al., 2004).

Este fluxo nas diferentes profundidades pode variar bastante no espaço e com o tempo. O fluxo de calor no solo é condicionado principalmente pela absorção de energia solar à superfície, a oscilação da temperatura do solo apresenta um ciclo diário e outro anual, que, embora com certa defasagem, acompanham os respectivos movimentos aparentes do Sol. Essas defasagens se explicam porque o fluxo de calor no interior do solo é relativamente lento. Assim, o instante em que se verifica a temperatura máxima do solo a uma dada profundidade, acontece algum tempo depois do momento em que se verificou a temperatura máxima do ar naquele dia. A defasagem é tanto maior quanto mais profunda a camada que se considere (GEIGER, 1980).

No interior do solo, o transporte de calor se faz por condução e através da água, por convecção. Pode-se, mencionar, ainda, a ocorrência de reações exotérmicas e endotérmicas, puramente químicas, ou decorrentes da atividade biológica de microrganismos telúricos.

A temperatura do solo é um dos mais importantes fatores de crescimento de plantas (KIRKHAM e POWERS, 1972). A principal causa da variação da temperatura na superfície do solo é a alteração da intensidade da radiação solar (VANWIJK, 1966).

O conhecimento da variação horária, diária, estacional e anual da temperatura do solo é fundamental para regiões e épocas do ano nas quais sua variação possa

inibir ou prejudicar o desenvolvimento do sistema radicular das culturas. A temperatura do solo é um dos fatores determinantes da velocidade de germinação das sementes e de desenvolvimento das plântulas, sendo sua influência maior nos subperíodos de semeadura-emergência e crescimento inicial das plantas. Nestes períodos, tendem a ocorrer acentuadas amplitudes térmicas diárias, principalmente próximas a superfície do solo, justamente pela falta de cobertura (SCHNEIDER, 1993).

As trocas energéticas que se processam entre a camada limite planetária e a superfície do solo são de fundamental importância em diferentes estudos agrometeorológicos e de modelagem atmosférica. O estudo de tais processos contribui para um entendimento melhor dos processos de ocorrência da geada, orvalho e previsão de temperaturas extremas, dentre outros (RAMANA RAO e VIANELLO, 1977).

A principal utilização prática das medições do fluxo de calor no solo é em estações meteorológicas que têm a finalidade estabelecer o balanço energético na superfície. Este balanço de energia trata em parte das transferências entre atmosfera e vegetação, parte dos estudos climatológicos e em parte para um cálculo muito mais preciso de evaporação (BUCHAN et al. 1991; FRANKS et al., 1997).

Reichardt e Timm (2004) descrevem um modelo de variação de temperatura no solo, no qual considera um perfil de solo sem vegetação, homogêneo, de densidade e umidade constante ao longo da profundidade  $z$ , exposto à radiação. Assim, define a temperatura da superfície ( $z = 0$ ) de um solo em função do tempo pela Equação 1.

$$T(0,t) = \bar{T} + T_0 \sin \omega t \quad \text{Equação (1)}$$

Em que  $\bar{T}$  é temperatura média diária,  $T_0$  é a amplitude da temperatura do solo na superfície ao longo do dia (diferença entre a temperatura máxima e a temperatura mínima do dia) ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $\omega$  é a velocidade angular da Terra ( $2\pi/24$ )  $\text{rad.h}^{-1}$  e  $t$  é o tempo (horas).

Em uma profundidade teoricamente infinita a temperatura do solo não varia com o tempo e a equação (1) se reduz a equação (2).

$$T(\infty, t) = \bar{T}$$

Equação (2)

Há também fontes de calor originados no centro da Terra, no qual este tipo de fonte exerce influência significativa na parcela do balanço de energia referente ao solo, conforme estudos realizados (HAMZA, 1982; HAMZA & MUNHOZ, 1996; HAMZA et al., 2005), por exemplo, em regiões próximas a vulcões ou fontes geotermiais, como as existentes na pousada do Rio Quente na Serra de São Vicente a 85 km de Cuiabá, e que são muito comuns no Brasil.

## 2.4. CONTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO COMPORTAMENTO TÉRMICO DOS SOLOS

O solo pode ser considerado como um meio capaz de armazenar água de forma muito eficiente. Este armazenamento pode se dar por longos períodos de tempo, permitindo o aproveitamento pelas plantas.

A água chega ao solo por meio de chuva, irrigação, escoamento superficial e ascensão capilar, e sai por drenagem, escoamento superficial e evapotranspiração.

As propriedades físicas do espaço poroso, tais como, porosidade, interconexão entre os poros e a permeabilidade, influenciam no transporte de fluídos no solo, e conseqüentemente, nas suas propriedades térmicas.

Em todas as suas formas, a água tem efeitos importantes e complexos nas propriedades térmicas dos solos. A movimentação de água no solo geralmente se processa na forma líquida ou de vapor, provoca mudanças nas propriedades térmicas do solo decorrentes das variações em suas quantidades e estado, pois gradientes de temperatura do solo induzem a movimentação da água no mesmo. O fluxo de calor acoplado e a umidade também apresentam complexas interações com efeitos na temperatura, uma vez que esta determina a distribuição das fases da água, seu movimento e o grau de sua interação junto aos minerais sólidos dos solos (FAROUKI, 1986).

## 2.5. SALDO DE RADIAÇÃO E RADIAÇÃO GLOBAL

Estudos de trocas de energia entre a superfície e atmosfera são importantes para o conhecimento das interações entre as variáveis meteorológicas envolvidas nesses processos. A partição de radiação líquida ( $R_n$ ) em fluxo de calor latente (LE) influi diretamente na determinação do ciclo hidrológico, no desenvolvimento da camada limite, no tempo e no clima, influenciando diretamente na precipitação.

Alterações na partição de energia entre calor latente e calor sensível podem afetar os fluxos da superfície e como resultado modificar o clima (FOLEY et al., 2003). Desse modo, tornam-se necessários estudos dessas interações entre a superfície e a atmosfera, como é o caso da contribuição dos componentes do balanço de energia, que revela a energia resultante em um local, após todas as trocas radiantes, expressas em termos de ondas curtas e longas terem sido efetuadas e é usado no aquecimento, na fotossíntese e como calor latente.

O fluxo de calor no solo é um parâmetro importante em modelos de balanço energético, entre o ar e o solo, não só para os modelos de crescimento das plantas, mas também para os modelos meteorológicos (LOON et al., 1998).

O balanço de radiação em superfícies vegetadas é de grande importância na determinação das perdas de água e na acumulação de matéria seca pelos vegetais, além de caracterizar o seu microclima. As medidas de saldo de radiação em comunidades vegetais possibilitam caracterizar os estados de conforto térmico, conforto hídrico e muitas reações biofísicas e bioquímicas (BORGES, 2002).

A energia disponível ao meio, expressa a somatória do balanço de radiação de ondas curtas e ondas longas, ou seja, a radiação líquida disponível ao sistema que é utilizada na evaporação, no aquecimento do ar e no aquecimento do solo. Assim, o balanço de energia de um sistema é uma função desses três processos. Devido à importância do Pantanal para a manutenção e a preservação dos ecossistemas espera-se que iniciativas com fins voltados para o estudo dessa região sejam contempladas para uma melhor compreensão desse bioma e para a regularidade ambiental da região.

O cálculo da energia disponível ao meio, o saldo de energia ( $R_n$ ), é calculado a partir da soma das parcelas usadas para o aquecimento do solo (G), aquecimento do ar (H) e para a evapotranspiração (LE), que matematicamente é expresso pela equação do balanço de energia:

$$R_n = G + H + LE$$

Equação (3)

A variação do fluxo de calor no solo em florestas, normalmente é desconsiderado em estudos de balanço de energia, por ter valores baixos durante o dia, mas em pastagens e áreas áridas esse componente não deve ser removido, porque é importante para o fechamento do balanço de energia de acordo com a amplitude diária, podendo fluxo de calor do solo ser tão alto quanto o fluxo de calor sensível, e essa omissão levará a grandes erros nos cálculos. (PRIANTE FILHO et al., 2004; HEUSINKVELD et al., 2004).

O saldo de radiação também pode ser obtido diretamente do saldo radiômetro.

A radiação solar ao atravessar a atmosfera terrestre sofre absorção, difusão seletiva e refletiva. A parcela da radiação que sofre qualquer destes processos citados acima é chamada de radiação difusa. Há ainda uma parcela que passa pela atmosfera sem sofrer qualquer interação, a essa parcela se dá o nome de radiação direta. A soma dessas duas parcelas de ondas curtas se dá o nome de radiação global ( $R_g$ ) que é medida diretamente de um sensor eletrônico denominado Piranômetro.

A radiação solar (ondas curtas) ao interagir com o solo e a atmosfera faz com que essas se aqueçam. Esse aquecimento de acordo com a Lei de Stephan-Boltzman fará com que o solo e a atmosfera emitam radiação, sendo essa na faixa do infravermelho distante (acima de 4000 nm). A essa radiação se dá o nome de radiação de ondas longas, pelo fato de seu comprimento de onda ser maior que o comprimento de onda da radiação solar.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. DESCRIÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

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 ( $16^{\circ}39'50''S$ ;  $56^{\circ}47'50''O$ ) e altitude de 120 m.

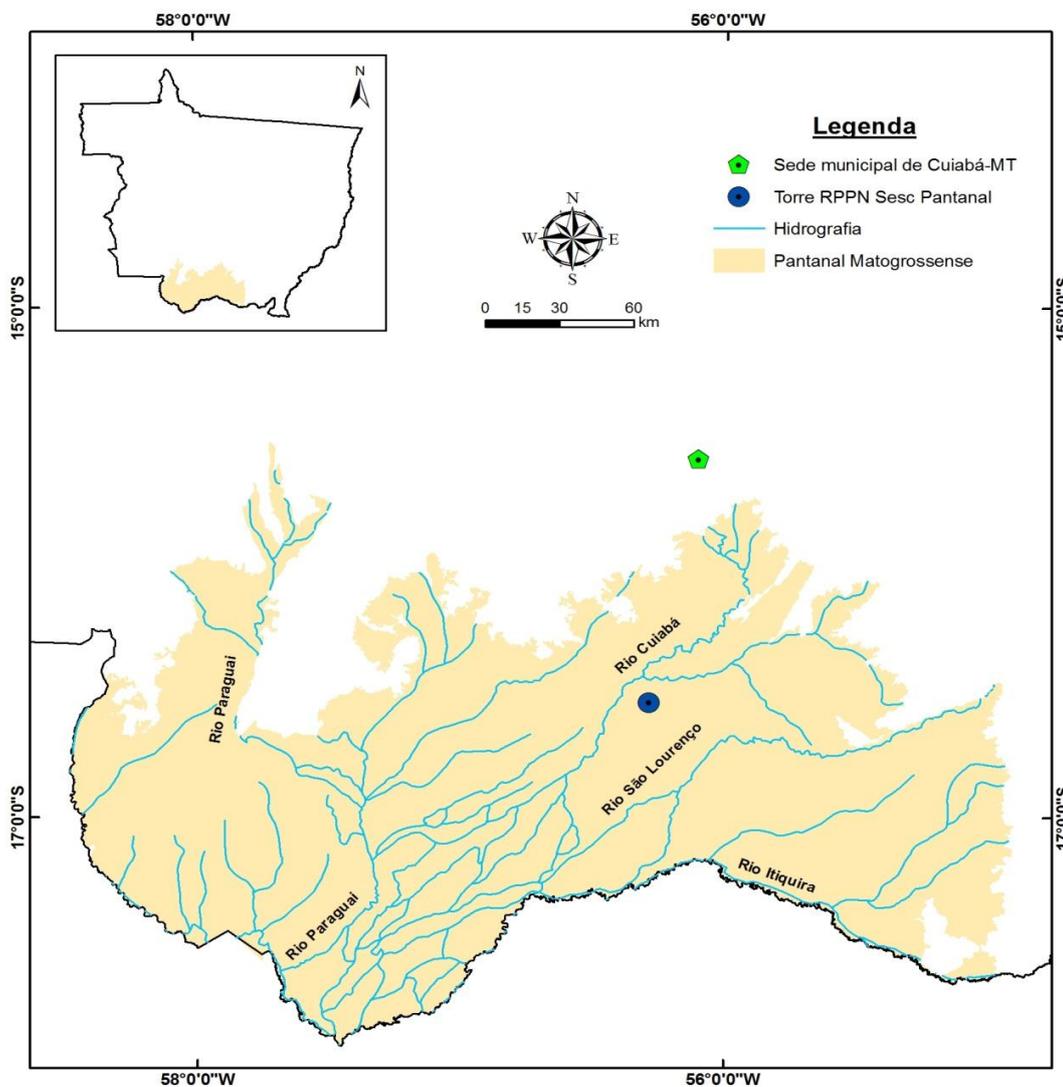


Figura 2. Localização da área de estudo na RPPN SESC – Pantanal – Município de Barão de Melgaço – MT.

Esta área apresenta vegetação monodominante de Cambará (*Vochysia divergens*, Phol), conhecido localmente como Cambarazal, com altura do dossel variando entre 28 a 30 m.



Figura 3. Foto da torre no Cambarazal.

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.

### 3.2. MATERIAIS UTILIZADOS

Foram utilizados neste estudo para a medição das seguintes variáveis:

- Temperatura do solo: Dois termistores instalados a 0,03m e 0,07m de profundidade, modelo 108-L (Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, USA);
- Fluxo de calor no solo: Um fluxímetro (Campbell HFT3 Soil Heat Flux Plate) na profundidade de 0,05m;
- Saldo de Radiação: Um saldo radiômetro (Kipp & Zonen Delft, Inc., Holland),
- Armazenagem de dados: 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).

Os equipamentos foram alimentados com tensão de 12 V por um banco de quatro baterias de 150 Ah cada, carregadas por quatro painéis solares de 64 W.



Figura 4. Saldo radiômetro.



Figura 5. Termistores.

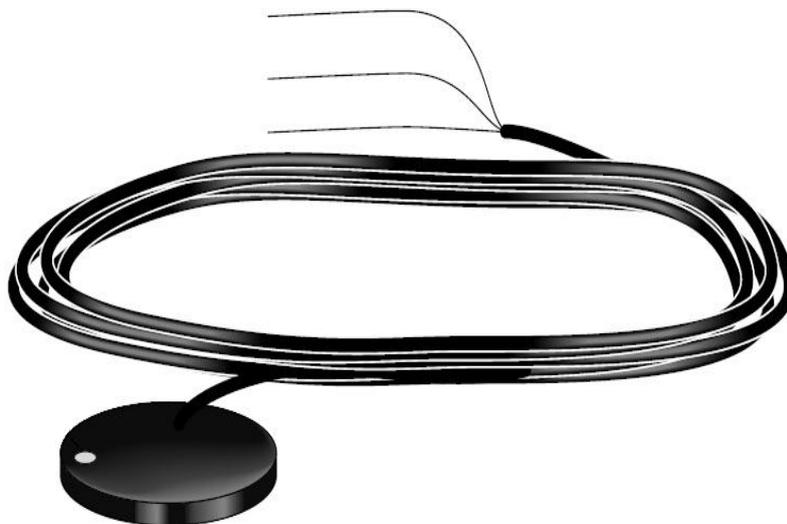


Figura 6. Fluxímetro.

O saldo de radiação ( $R_n$ ), a energia disponível à superfície, é medido pelo equipamento saldo radiômetro (Figura 4), no qual o sensor é composto de duas termopilhas, na face superior e inferior. A medição de  $R_n$  é essencial na caracterização correta do balanço de energia de superfícies naturais, sendo também o parâmetro mais importante utilizado em modelos meteorológicos que determinam a evapotranspiração (SOUZA e ESCOBEDO, 1995).

A temperatura do solo foi medida pelos termistores (Figura 5), que são semicondutores sensíveis à temperatura, que geram uma diferença de potencial que será lida pelo datalogger e convertido para medidas de temperatura.

O fluxo de calor no solo foi medido com o fluxímetro, com o sensor possuindo uma termopilha revestida em uma resina em forma de disco, que mede o gradiente de temperatura e tem uma condutividade térmica conhecida, calculada pela equação de Fourier, o sensor mede o fluxo de calor de determinado local (LOON et al., 1998).

Estas medidas podem acarretar dois erros de medição:

1 – Como a condutividade térmica do sensor difere da do solo, essa diferença gera um erro no cálculo do fluxo chamado de erro de deflexão (PHILIP, 1961).

2 – Pela placa ser sólida, ela impede a convecção de gases e líquidos no interior do solo, não sendo contabilizados estes valores no cálculo do fluxo feito pelo sensor (BUCHAN et al., 1991).

Para a minimização do erro de deflexão, Watts et.al. (1990) sugeriram calibrar o fluxímetro em dois meios diferentes com conhecidas condutividades térmicas.

O fluxo de calor no solo foi medido pelo fluxímetro (Figura 6). O fluxo de calor no solo é uma medida difícil de ser efetuada com precisão, e as placas que medem o fluxo de calor no solo são difíceis de calibrar (WOODWARD e SHEEHY, 1983).

A calibração do sensor de referência pode ser feita conhecendo-se a condutividade térmica e o gradiente térmico do solo.

Os dados de precipitação utilizados neste trabalho foram adquiridos pelo site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, que disponibiliza online dados meteorológicos de várias estações no Brasil. Uma vez que não havia dados de precipitação do município de Barão de Melgaço, foram utilizados para comparação, devido a proximidade, dados do município de Santo Antônio de Leverger, coletados na fazenda experimental da UFMT, Padre Ricardo Remetter.

### 3.3. DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA PELA EQUAÇÃO DE FOURIER

O Sol é o principal fornecedor de energia para a Terra, pois sua radiação atravessa a atmosfera e chega ao solo, tendo parte absorvida em seus primeiros milímetros e parte é refletida novamente para a atmosfera. Ao analisarmos a parte absorvida pela parte superficial do solo, durante o dia, temos um fluxo de calor para as camadas mais profundas, no qual o calor é transferido por condução. A parte do solo que contém maior temperatura vibra com maior amplitude, passando essa energia pela interação átomo a átomo, aumentando a energia interna das moléculas.

A condutividade térmica de uma substância é definida como sendo a quantidade de calor que flui, por unidade de tempo, através de uma camada de espessura unitária, quando mantida uma diferença de temperatura unitária entre as duas faces opostas dessa superfície. A transmissão de calor por condução é característica do transporte através dos sólidos. As entidades responsáveis por este

transporte são os elétrons de condução e/ou as vibrações da rede cristalina (INCROPERA & WITT, 1981).

A condutividade térmica do solo reflete sua capacidade em transportar o calor de uma superfície para uma subsuperfície. Para uma condutividade baixa, por exemplo, pode-se ter uma temperatura alta na superfície, porém uma pequena taxa deste calor consegue aprofundar-se no solo, ao contrário, se o solo possuir uma condutividade alta, boa parte deste calor conseguirá fluir para baixo.

Entretanto, o solo que possuir uma condutividade alta, terá mais facilidade em perder a noite o calor que tiver armazenado durante o dia, devido a essa facilidade de conduzir o calor.

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

$$G = -K \frac{dT}{dz} \quad \text{Equação (4)}$$

$$K = -\frac{G}{dT/dz} \quad \text{Equação (5)}$$

Em que:

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

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

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

Por meio da equação pode-se analisar o fluxo de calor e o gradiente de temperatura, e como sua variação influencia nos valores de condutividade.

O gradiente de uma propriedade escalar qualquer ( $\alpha$ ) é um vetor, representado pelo símbolo  $\nabla$  (nabla), definido conforme Equação 6:

$$\nabla \alpha = \left(\frac{\partial \alpha}{\partial x}\right) \vec{i} + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial y}\right) \vec{j} + \left(\frac{\partial \alpha}{\partial z}\right) \vec{k} \quad \text{Equação (6)}$$

Os versores  $\vec{i}$ ,  $\vec{j}$  e  $\vec{k}$ , são associados aos eixos coordenados do referencial local, e  $(\frac{\partial \alpha}{\partial x})$ ,  $(\frac{\partial \alpha}{\partial y})$ ,  $(\frac{\partial \alpha}{\partial z})$ , traduzem a variação espacial de  $\alpha$  ao longo de cada um dos eixos do referencial local.

No caso da condutividade térmica de um solo, foi considerado o gradiente unidimensional  $dT/dz$  (variação da temperatura com a profundidade), em que o sentido do fluxo de calor é inverso ao sentido do gradiente.

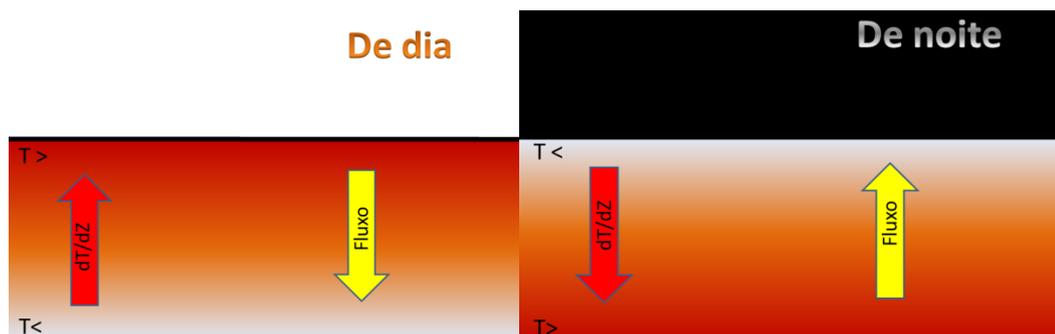


Figura 7. Sentidos do fluxo de calor no solo e do gradiente de temperatura de dia e de noite.

O gradiente de temperatura neste trabalho foi considerado calculando a diferença de temperatura entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m divididos pela diferença das profundidades, que é 0,04 m.

### 3.4. PERÍODO DE ESTUDO E TRATAMENTO DOS DADOS

Para a análise da dinâmica térmica do solo do Pantanal, utilizaram-se dados coletados no ano de 2008 e 2009, e, conforme a precipitação acumulada mensal, os dados coletados foram divididos em quatro períodos:

- Abril e Maio de 2008: período de transição entre a chuva dos meses anteriores para o período seco;
- Junho, Julho, Agosto e Setembro de 2008: Período seco;
- Outubro e Novembro de 2008: Transição entre o período seco e chuvoso;
- Dezembro de 2008 e Janeiro, Fevereiro e Março de 2009: Período chuvoso.

Foram descartados os dias em que não houveram medições devido a problemas na aquisição de dados.

Os instrumentos utilizados para a coleta de dados foram programados para fazerem medidas do fluxo de calor no solo e temperatura nas profundidades de 0,03m e 0,07m a cada 15 minutos.

Totalizando 96 medidas diárias, e a partir desses dados obteve-se um valor médio para esses 96 valores, representando um valor de cada fluxo de calor, condutividade térmica e gradiente de temperatura para cada dia e para cada profundidade.

Para a análise horária, foram calculadas médias de condutividade térmica, fluxo de calor e gradiente térmico a cada 15 minutos. Após isso calculou-se médias para cada 15 minutos de todos os dias do período obtendo um valor para a condutividade térmica, fluxo de calor no solo e gradiente de temperatura, gerando um dia característico que representasse todo o período, informando a variação horária média dos componentes da equação de Fourier.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DA SAZONALIDADE E DINÂMICA TÉRMICA DO SOLO

Os valores médios da condutividade térmica (K), do fluxo de calor no solo (G), do gradiente de temperatura (dT/dz), e das temperaturas nas profundidades 0,03 m e 0,07 m encontram-se na tabela 1:

Tabela 1. Valores médios da condutividade térmica do solo (K), fluxo de calor no solo (G), gradiente de temperatura (dT/dz), temperatura a 0,03m (T 0,03), temperatura a 0,07m (T 0,07) e saldo de radiação (Rn), nos períodos de transição de chuvoso para seco, seco, transição de seco para chuvoso e chuvoso.

	<i>Transição Chuvoso / Seco</i>	<i>Seco</i>	<i>Transição Seco / Chuvoso</i>	<i>Chuvoso</i>
$K (W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1})$	1,12	0,78	1,15	1,75
$G (W.m^{-2})$	3,53	7,49	8,78	8,61
$dT/dZ (^{\circ}C.m^{-1})$	5,84	19,42	16,39	9,84
$T 0,03 m (^{\circ}C)$	27,11	25,11	27,60	28,14
$T 0,07 m (^{\circ}C)$	27,31	25,51	27,67	27,93
$Rn (W.m^{-2})$	149,30	154,65	175,35	187,76

Ao comparar os valores do período seco com o chuvoso, ignorando as transições, constata-se uma diferença média de 55,44%. A condutividade térmica diminui do da transição chuvoso/seco para o seco, e posteriormente vai aumentando conforme avança os períodos do seco até o chuvoso.

Observa-se através da Figura 8 e da Tabela 1, que os valores de condutividade térmica vão aumentando conforme se iniciam as chuvas, voltando a diminuir com o término das mesmas.

Com o início das chuvas e do inundação da região, a maior presença de água no solo acarreta um maior transporte de calor, uma vez que aumenta a condução, visto que a parte porosa do solo que no período seco está preenchida com o ar passa a ser preenchida com a água que permite um maior fluxo de calor por condução que é o principal meio de transporte de calor no solo (NOVAIS et al., 2011 a).

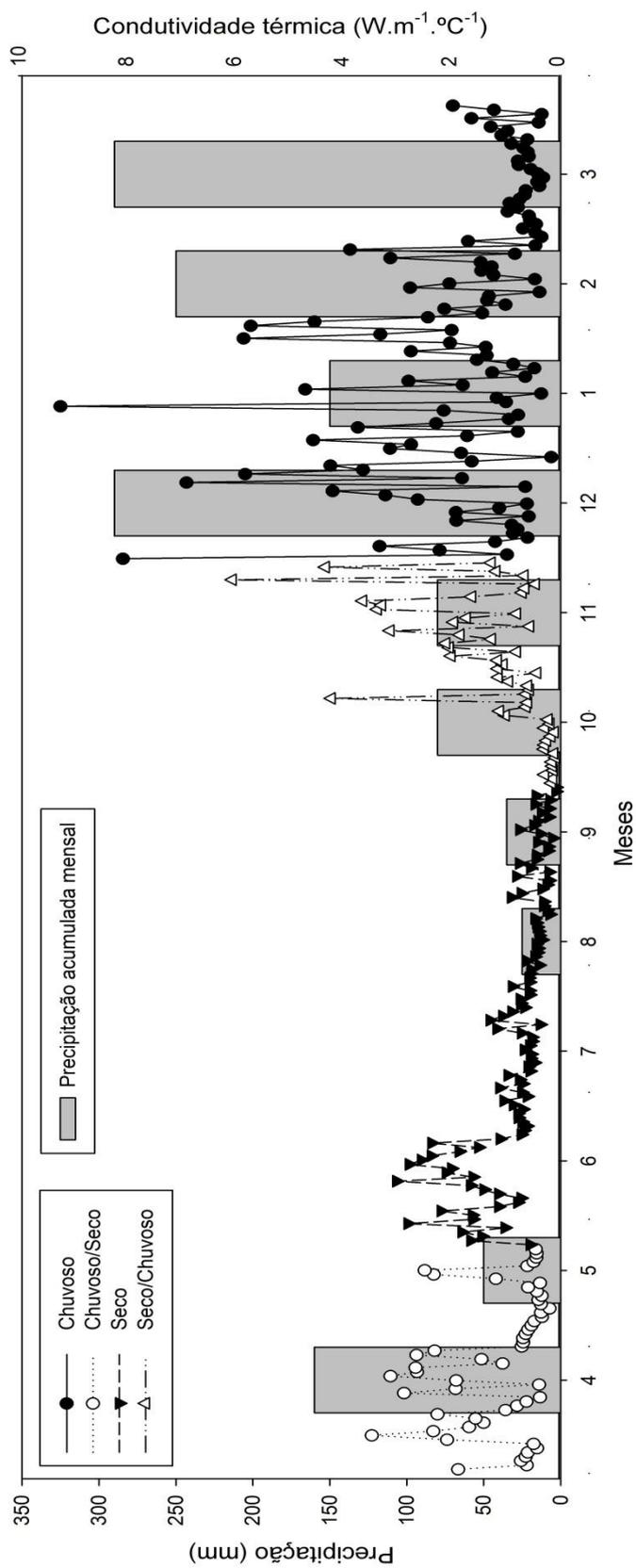


Figura 8. Condutividade térmica do solo (K), entre as profundidades 0,03m e 0,07m, no período transição, chuvoso/seco, seco, transição seco/chuvoso e chuvoso, e precipitação acumulada mensal em mm.

No Figura 8 observa-se um aumento nos valores da condutividade térmica, tendo seus valores máximos a partir do mês de Novembro. Com o início da vazão do Pantanal, mesmo com precipitação, os valores começam a decair no mês de Fevereiro.

O aumento da temperatura no solo aumenta a energia cinética das moléculas de água e causa dispersão. Quando se varia o conteúdo de água no solo, há também uma variação na condutividade térmica, alterando o fluxo e o gradiente térmico.

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

Quando a superfície do solo começa a receber energia, e conduzindo esta energia para as camadas inferiores percebe-se que esta condução de calor depende da ligação entre os átomos. Se há uma variação no conteúdo de água no solo, isso reflete em uma variação na condutividade térmica e que por consequência afeta a distribuição da temperatura no solo. Há um aumento da condutividade térmica com uma elevação do conteúdo de água no solo, pois os espaços vazios presentes na estrutura dos solos são preenchidos pela água que possui maior condutividade térmica do que a condutividade térmica do ar que está presente no solo (FAROUKI, 1986).

Quanto maior a condutividade térmica menor será a variação de temperatura da superfície e maior será o armazenamento de calor. A condutividade térmica do solo depende da textura, da porosidade e da umidade. Por isso, ela varia de solo para solo e para um mesmo solo, de acordo com o seu conteúdo de água, logo o teor de umidade é um fator que afeta significativamente a condutividade térmica do solo.

De acordo com Bellaver (2009), que analisou as propriedades térmicas do solo no mesmo local de estudo, o Cambarazal pantaneiro, o solo do local apresenta uma espessa camada de serrapilheira, que juntamente com o dossel do Cambarazal, formam uma proteção para o solo, dificultando sua perda de água, não deixando o mesmo perder a mesma quantidade de água de um solo nu.



Figura 9. Serrapilheira e material em decomposição sob o solo da floresta de Cambará – RPPN – SESC, Barão de Melgaço – MT (BELLAVÉR, 2009).

Em solo coberto pressupõe-se que haja maior teor de umidade e essa altera o calor específico e a condutividade térmica do solo. Dessa forma, como o calor específico da água é elevado ( $4,18 \text{ MJ.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$ ) a capacidade térmica do solo aumenta com o aumento do teor de umidade (SHOFFEL, 2005).

Ao compararem-se as médias de fluxo de calor no solo, Figura 10, do período chuvoso com o seco, observa-se uma diferença de 13,03%. O maior saldo de radiação juntamente com uma maior condução de calor fez o fluxo de calor no solo do período chuvoso ter maiores médias que o período seco. O período de transição entre chuvoso e seco foi o que apresentou os menores valores de fluxo de calor no solo.

Apesar da grande diferença da condutividade térmica entre os períodos, o fluxo de calor no solo não apresentou tanta variação entre o período seco e chuvoso. Essa variação foi ajudada pelo fato de que no período seco, a escassez de água faça com que a parcela de energia destinada ao calor latente seja diminuída em acréscimo ao fluxo de calor sensível e no solo.

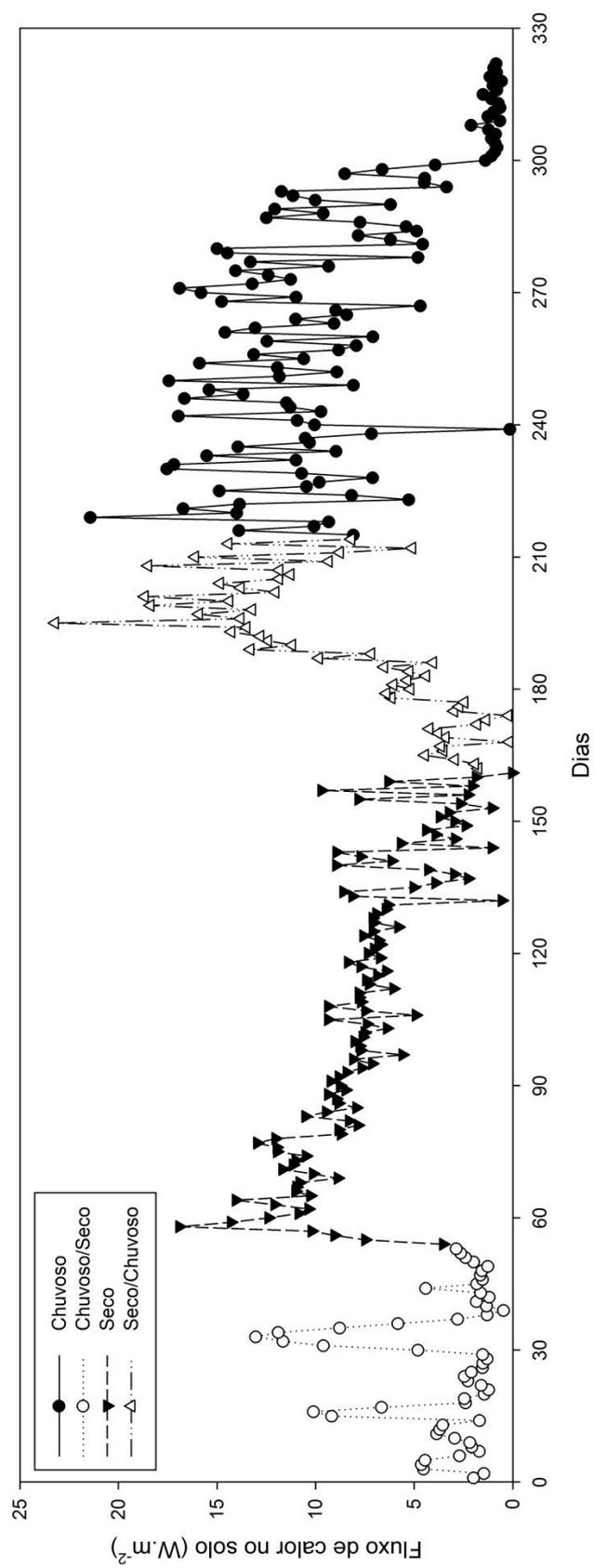


Figura 10. Fluxo de calor no solo entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m.

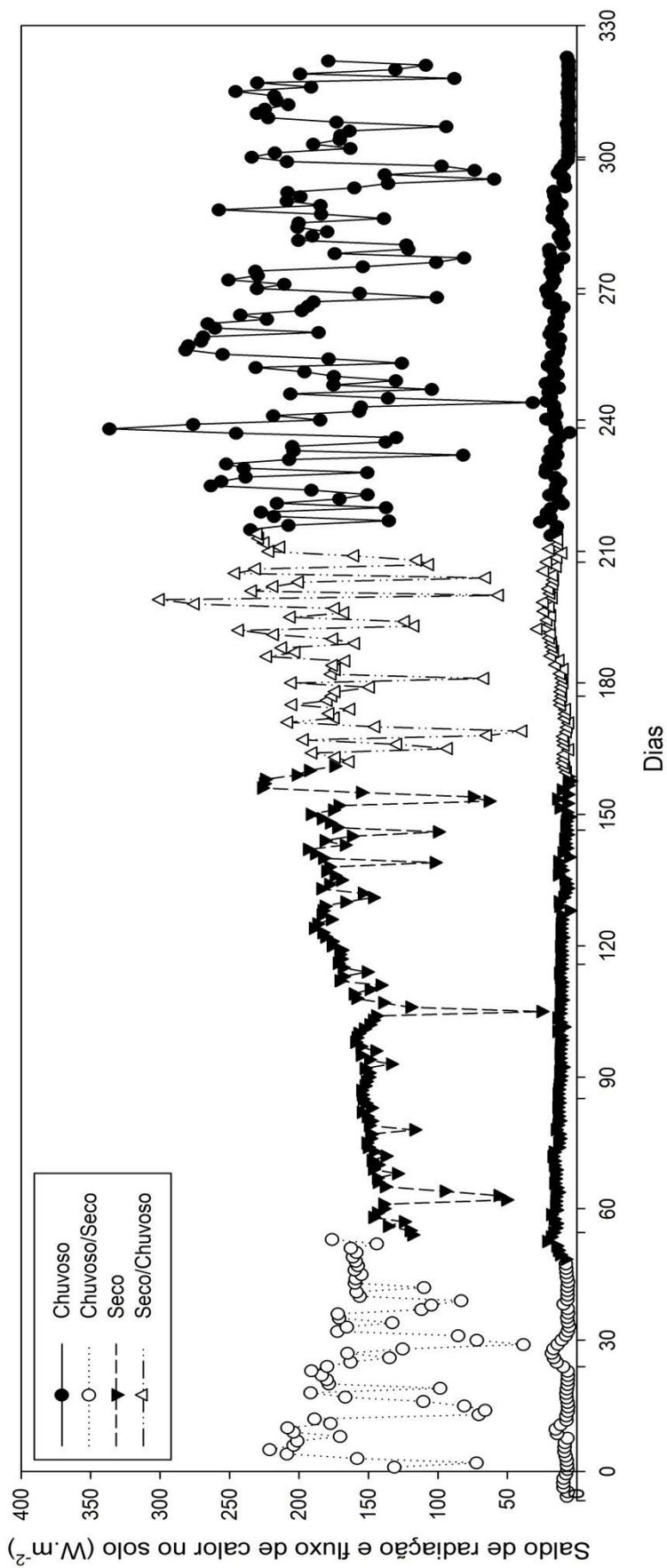


Figura 11. Saldo de radiação e fluxo de calor no solo entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m.

Dos componentes do balanço de energia, o fluxo de calor no solo foi o que recebeu menor parcela da energia, no qual a maior parte dessa energia foi destinada ao fluxo de calor latente e sensível.

A média do saldo de radiação, Figura 11, no período chuvoso foi de  $187,76 \text{ W.m}^{-2}$ , sendo que apenas 4,59% foi destinado ao fluxo de calor no solo. O saldo de radiação no período chuvoso apresentou maiores valores que no período seco, devido à maior incidência de radiação no hemisfério sul neste período. No período seco, a média do saldo de radiação foi  $154,65 \text{ W.m}^{-2}$ , 17,64% menor que o chuvoso. Dessa energia, 4,84% destinou-se ao fluxo de calor no solo.

Outro fator que influenciou os valores de condutividade térmica foi o gradiente de temperatura, Figura 12. Contrariamente a condutividade térmica e ao fluxo de calor no solo, o gradiente térmico apresentou seus maiores valores no período seco, apresentando um acréscimo de 49,3% a mais do que o período chuvoso. Isto é explicado pelo fato de que durante o período chuvoso, grande parte da radiação solar incidente na superfície terrestre é consumida como calor latente de evaporação na região tropical (SELLERS, 1974).

O alto valor de calor latente da água,  $540 \text{ cal/g}$ , faz com que boa parte da energia seja gasta para a evaporação da água do solo, dessa forma no período seco, com a ausência de água, a energia destina-se para o aquecimento do solo, acarretando a maior variação da temperatura com a profundidade. O maior gradiente de temperatura foi observado no período seco,  $19,42 \text{ }^\circ\text{C/m}$ , valor este que foi diminuindo conforme a incidência das chuvas, Figura 8, até chegar no seu menor valor na transição do período chuvoso para seco,  $5,84 \text{ }^\circ\text{C/m}$ .

Outra contribuição para o maior gradiente térmico no período seco é o alto calor específico da água, que inibe variações de temperatura, sendo necessário mais energia para elevar sua temperatura. Já o ar possui calor específico menor que o da água, aumentando sua temperatura com menor quantidade de calor, no qual boa parte da radiação servirá para o aquecimento da camada superficial do solo, aumentando o gradiente térmico.

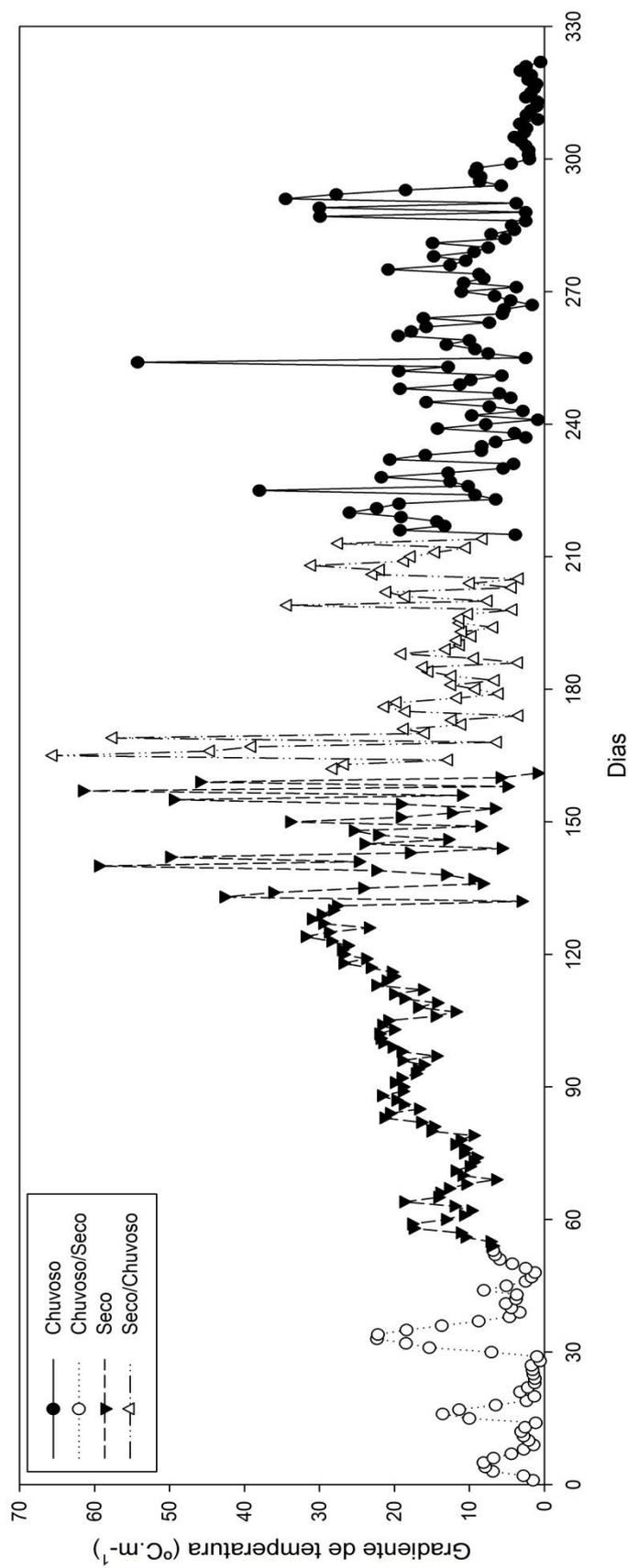


Figura 12. Gradiente de temperatura entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m.

A ausência de água no solo dificulta o fluxo de calor no solo, fazendo que a camada superficial do solo tenha dificuldade em conduzir o calor para as camadas inferiores, propiciando um maior gradiente de temperatura, que por consequência fez as médias do gradiente térmico do período seco serem maiores do que o período chuvoso.

De acordo com a Equação 5, o gradiente de temperatura ( $dT/dz$ ) aparece no denominador, assim, um aumento do gradiente térmico, Figura 12, acarreta uma diminuição na condutividade térmica do solo, Figura 8.

As médias das temperaturas nas profundidades 0,03 m e 0,07 m mantiveram-se maiores no período chuvoso do que no período seco.

Na profundidade 0,03 m, a média de temperatura do período chuvoso foi de 28,14 °C, 10,77% maior que a do período seco, 25,11 °C. Conforme a Figura 13, observa-se um aumento da temperatura a partir do período seco, atingindo seus maiores valores no período chuvoso, e novamente diminuindo na transição chuvoso/seco. A temperatura do solo acompanha os padrões do fluxo de calor e da condutividade térmica.

No gráfico das temperaturas na profundidade de 0,07 m, Figura 14, as médias acompanham o padrão da profundidade 0,03 m, Figura 13, apresentando os menores valores no período seco, 25,51°C, e aumentando gradativamente, até atingir os maiores valores no período chuvoso, 27,93 °C.

Conforme atinge profundidades inferiores, o pulso de calor vai sendo absorvido, podendo ser observado na profundidade 0,07 m, Figura 14, que mostrou menor amplitude nas médias entre os quatro períodos (ARAÚJO, 1999; PIMENTEL et al., 2010).

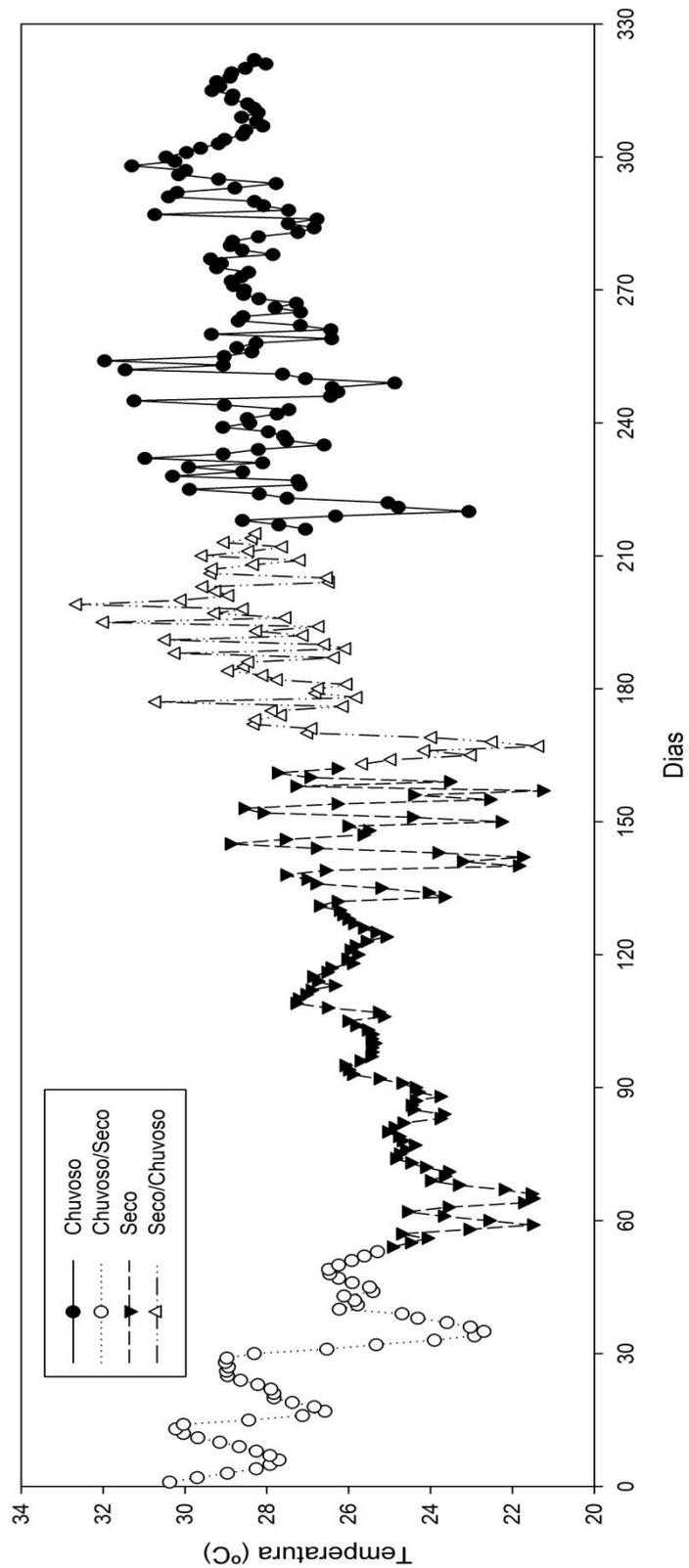


Figura 13. Temperatura na profundidade 0,03 m.

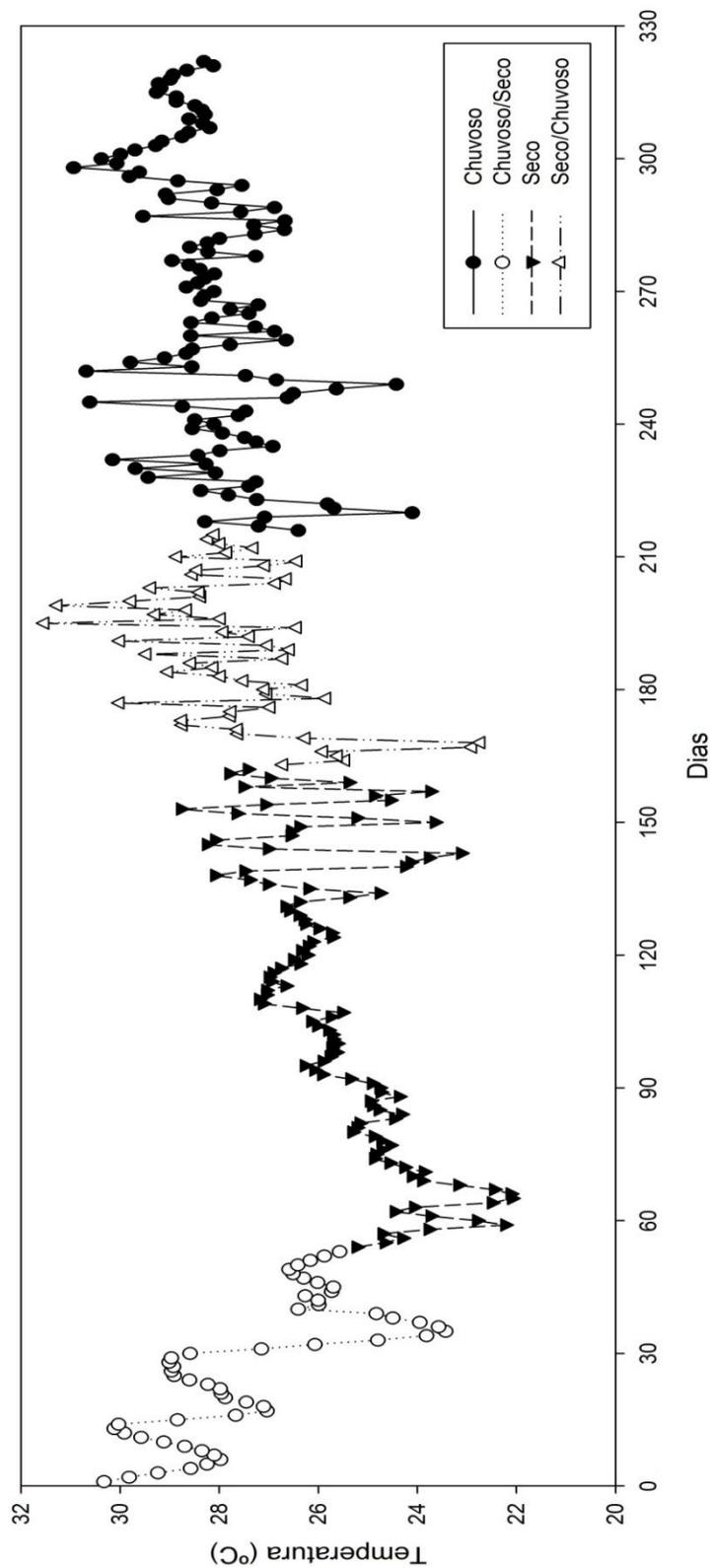


Figura 14. Temperatura na profundidade 0,07 m.

## 4.2 ANÁLISE HORÁRIA DOS COMPONENTES DA EQUAÇÃO DE FOURIER

Além da análise sazonal da variabilidade dos componentes do fluxo de calor no solo, a análise da variação destes componentes durante um dia nos permite inferir mais informações a respeito da dinâmica térmica.

O período de transição chuvoso/seco, época em que as águas do Pantanal começam a baixar e não há mais precipitação, foi o período que apresentou menores variações do fluxo de calor, Figura 15.

Nas médias horárias, em nenhum momento o fluxo de calor ficou positivo, mostrando que o pouco de energia que chegou ao solo, foi utilizado principalmente para o aquecimento do solo e da camada de água restante.

As médias do período seco apresentaram uma menor variação a cada quinze 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 período de transição seco/chuvoso foi o período que apresentou a maior amplitude entre o valor mínimo,  $-16,74 \text{ W.m}^{-2}$  à noite e  $22,05 \text{ W.m}^{-2}$  de dia. Com o início da precipitação, e o conteúdo variável de água no solo, que em momentos está completamente seco e com as chuvas aumenta sua umidade, fazem com que este período apresente as maiores variações entre as medidas horárias.

No período chuvoso, já com o solo inundado, não se observa tamanha amplitude conforme a transição seco/chuvoso, tendo o valor mínimo como  $-7,69 \text{ W.m}^{-2}$  à noite e  $12,71 \text{ W.m}^{-2}$  de dia.

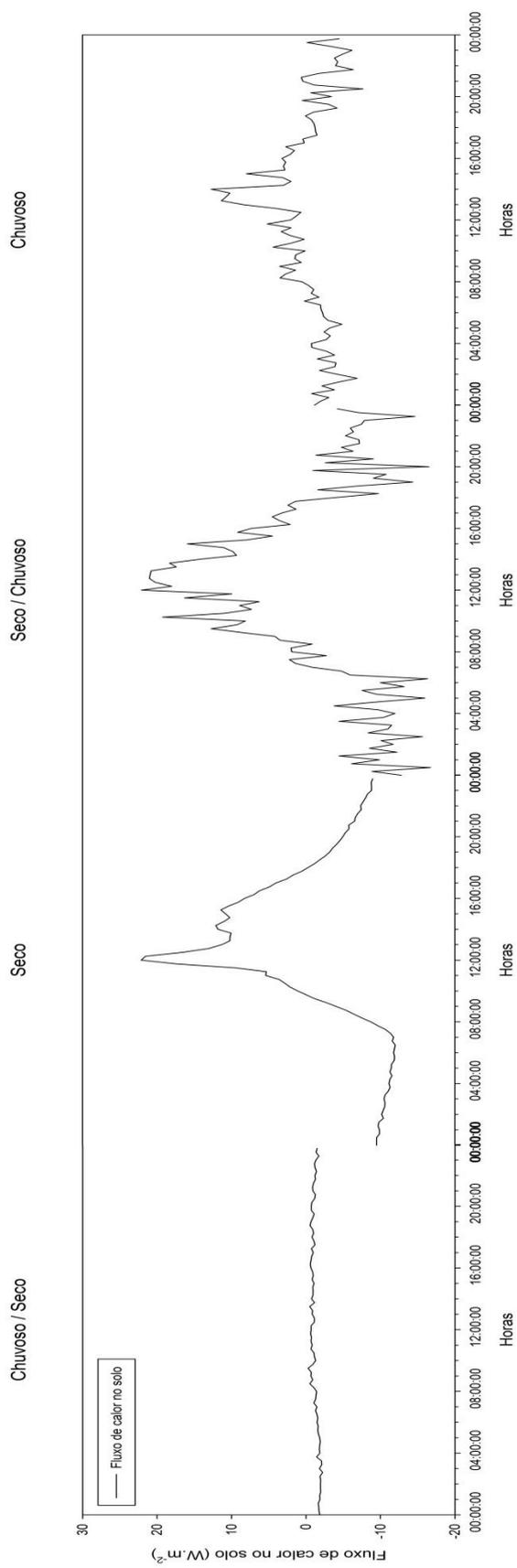


Figura 15. Médias horárias do fluxo de calor no solo na profundidade 0,05 m.

A não suavidade do gráfico da transição seco/chuvoso e do período chuvoso são também reflexos da maior variação da radiação global nesse período, visto que, a maior incidência de chuva causa dias com maior nebulosidade e, portanto, com variações mais abruptas na radiação global 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, fazendo 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 (NOVAIS et al., 2011 b).

Aproximadamente a partir das seis horas da manhã, quando o solo começa a receber a energia, pode-se perceber o valor do fluxo de calor aumentar, com exceção na transição chuvoso/seco, até atingir seu pico por volta das doze horas no período seco, e cerca de treze/quatorze horas no período transição seco/chuvoso e 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  $0,241 \text{ cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$  para o ar e  $1 \text{ cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$  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, conforme o gráfico do saldo de radiação, Figuras 16 e 17, explicando a defasagem de cerca de uma hora entre os períodos.

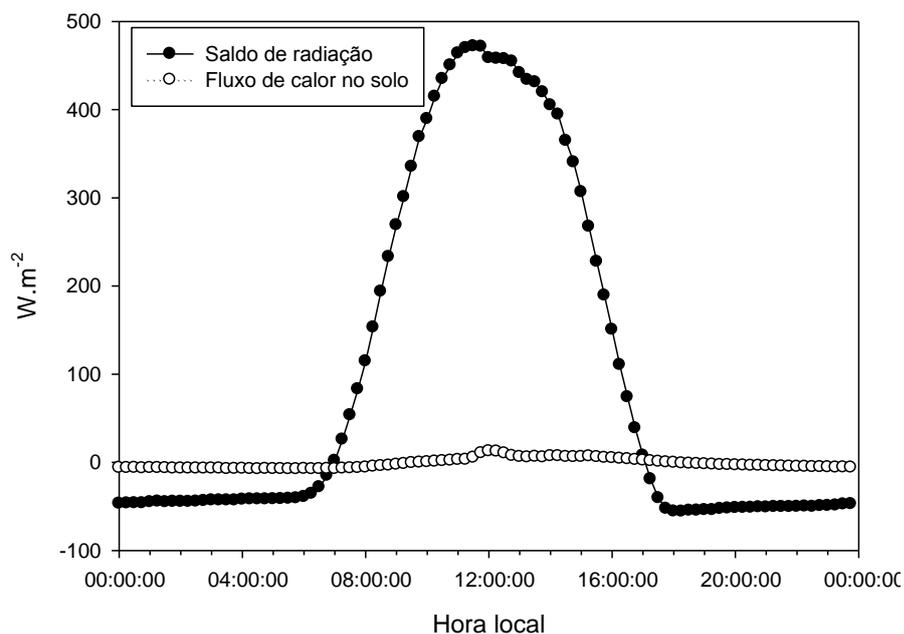


Figura 16. Médias horárias do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo no período seco.

O período seco coincide com o período que o hemisfério sul recebe menos radiação solar, fazendo que os valores do saldo de radiação do período seco sejam menores que os valores do período chuvoso.

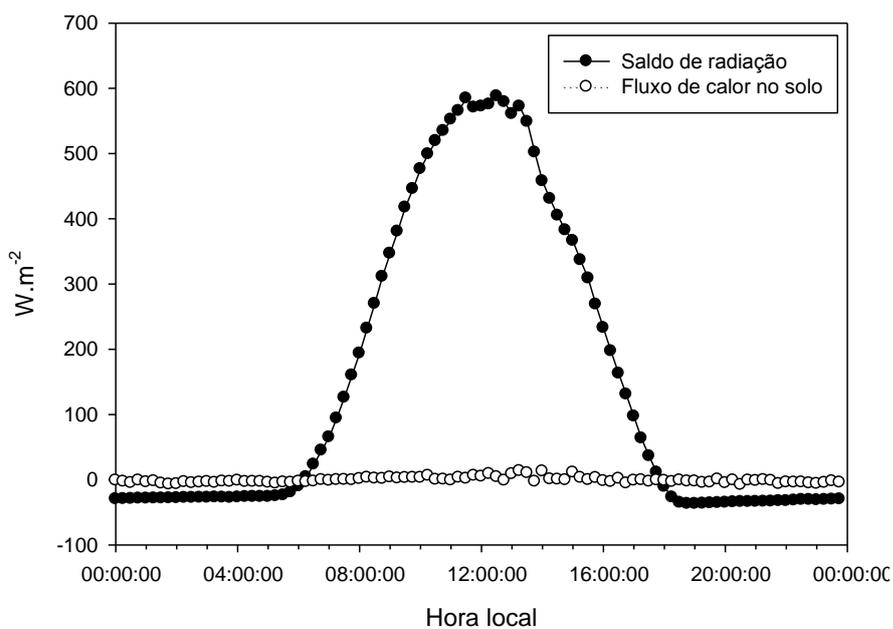


Figura 17. Média horárias do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo no período chuvoso.

Conforme o gráfico do fluxo de calor no solo, Figura 15, o período de transição chuvoso/seco apresentou a menor amplitude, não tendo seu gradiente de temperatura maior que  $4\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$  durante todo o dia. Dessa forma, um pequeno gradiente de temperatura causou um pequeno fluxo de calor.

Observa-se no período seco a maior diferença entre os máximos positivos e negativos do fluxo de calor no solo. Diferentemente, nos períodos de transição e no chuvoso, a diferença entre os máximos é menor, indicando que a água, com seu calor específico maior que o do ar, retém mais energia para os processos físicos do solo. Dessa forma, o período seco transfere mais energia para a atmosfera no período noturno.

A dificuldade do solo seco em conduzir o calor proporcionou uma maior amplitude entre os valores máximos e mínimos do gradiente térmico, tendo seu valor máximo positivo de  $28,62\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$  e o máximo negativo como  $-23,97\text{ }^{\circ}\text{C.m}^{-1}$ . 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 de transição chuvoso/seco acompanhou a grande amplitude entre os máximos e mínimos do período seco, porém com uma maior variabilidade entre os valores horários.

Com o Cambarazal totalmente inundado, a estabilidade causada pela água fez com que as médias horárias do gradiente de temperatura, Figura 18, do período chuvoso variassem menos do que o período de transição seco/chuvoso.

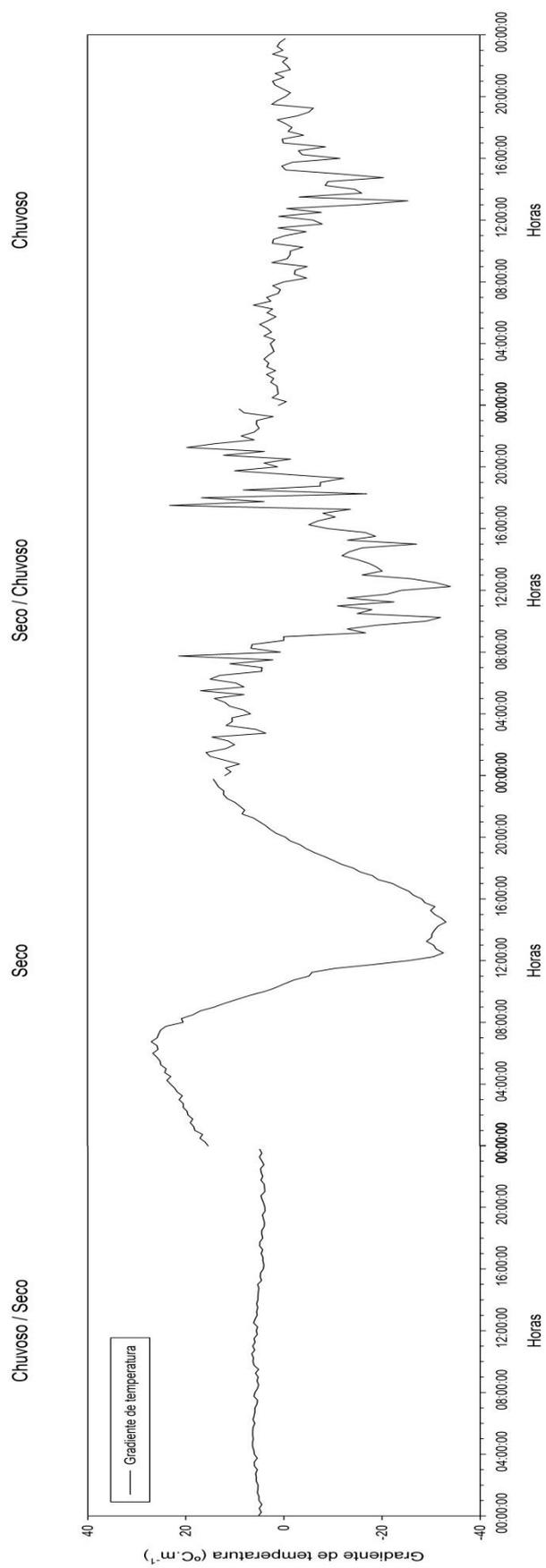


Figura 18. Médias horárias do gradiente de temperatura entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m.

Para uma melhor análise do comportamento do gradiente de temperatura em relação a condutividade térmica, fez-se 2 gráficos de regressão, para o período seco e chuvoso.

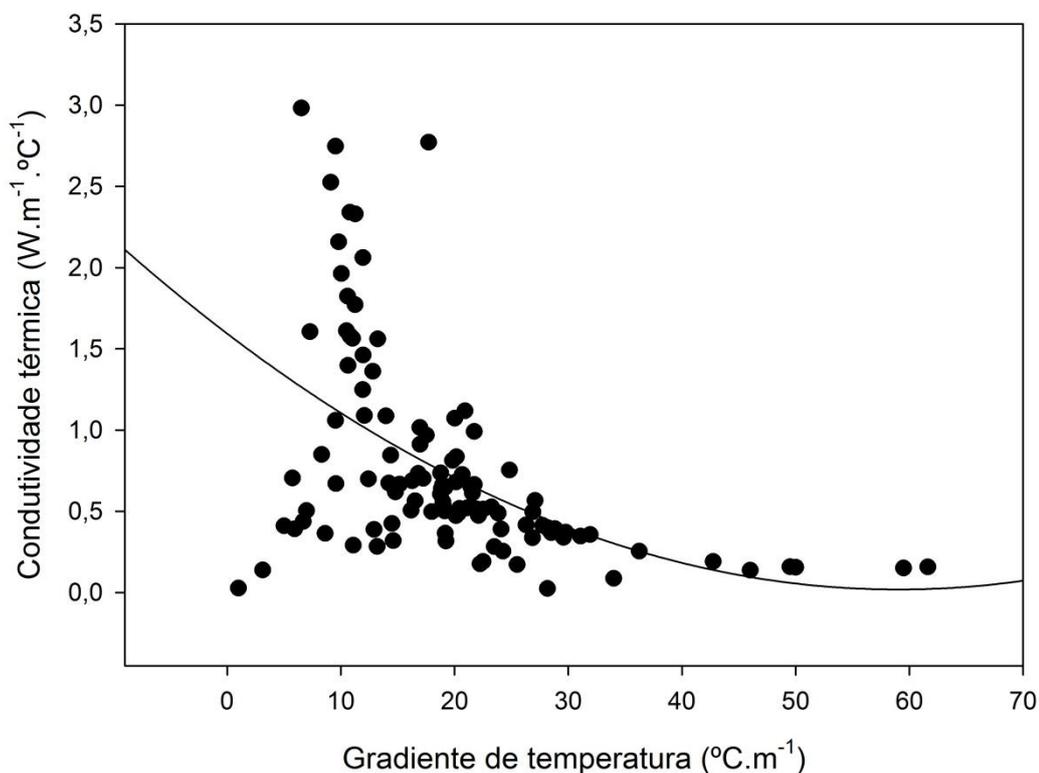


Figura 19. Regressão linear entre condutividade térmica e gradiente de temperatura no período seco.

Nota-se na figura que em gradientes de temperatura maiores que 20 °C.m<sup>-1</sup>, os valores de condutividade térmica tendem a uma constância, podendo-se fazer considerações ao valor da condutividade térmica do solo seco, por volta de 0,3 W.m<sup>-1</sup>.°C<sup>-1</sup>. Essa tendência é explicada pela sensibilidade dos valores de condutividade térmica a pequenos gradientes de temperatura, conforme Equação 5.

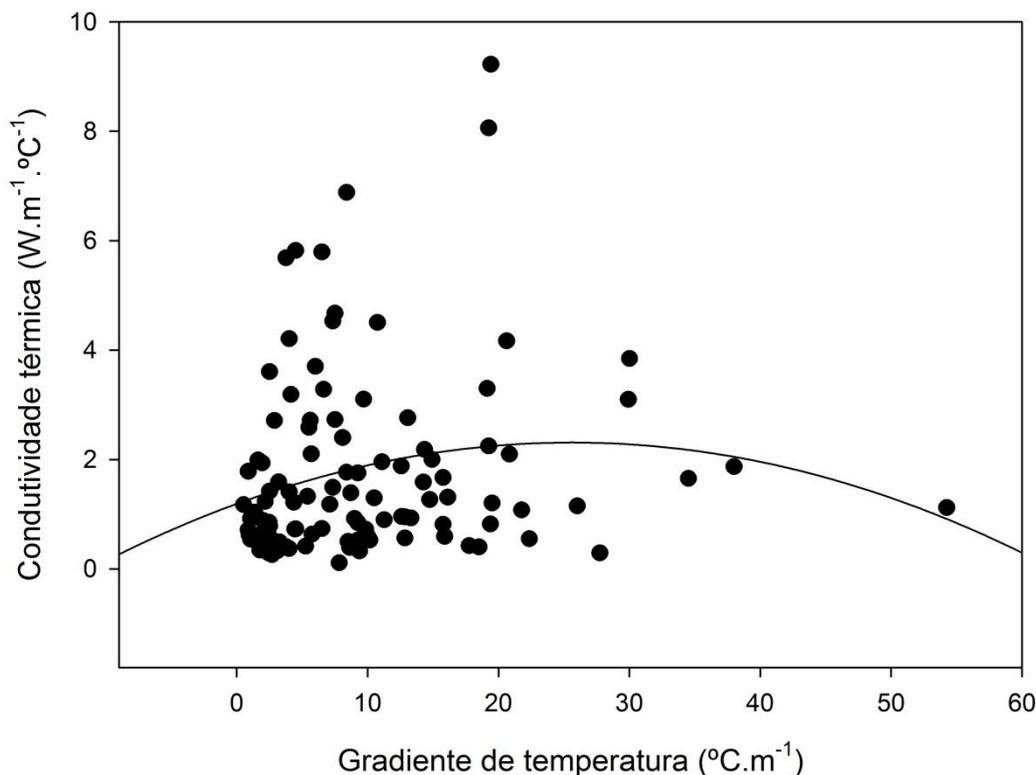


Figura 20. Regressão linear entre condutividade térmica e gradiente de temperatura no período chuvoso.

Já para o período chuvoso, devido a variação do conteúdo de água no solo e da radiação global, dificulta encontrar um valor constante para a condutividade térmica neste período.

As variações do gradiente de temperatura são melhor visualizadas de acordo com o gráfico das temperaturas nas profundidades 0,03 m e 0,07 m, Figura 21.

O período de transição chuvoso/seco, da mesma forma que seu gradiente, obteve uma pequena diferença entre as profundidades, diferença essa que causou o pequeno gradiente e fluxo de calor observados.

O período seco foi o período que apresenta menores variações entre os dados, podendo-se observar claramente que por volta das sete horas, com o início da radiação, a camada superior do solo começa a aquecer-se, fazendo com que a temperatura à profundidade 0,03 m seja maior do que a temperatura da profundidade 0,07 m, permanecendo maior até aproximadamente 19 horas.

De forma geral, a transição seco/chuvoso, acompanha o comportamento do período seco, tendo a profundidade 0,03 m com temperaturas maiores que 0,07 m

durante o dia, e se invertendo durante a noite. Este período também apresentou as maiores médias e maior amplitude entre o máximo e mínimo diário que os outros períodos. O conteúdo variável de água também influenciou nas maiores diferenças entre os valores durante o dia.

O período chuvoso não teve grande amplitude entre o máximo e o mínimo diário, devido a presença de água, que com seu alto calor específico, inibe grandes variações de temperatura durante o dia.

Quanto a condutividade térmica, o período de transição chuvoso/seco teve as menores médias entre os quatro períodos, tendo no período vespertino os maiores valores de condutividade.

Os valores de condutividade térmica no período seco não variaram tanto entre as médias horárias, com exceção de um pico por volta do meio dia, horário de maior incidência de radiação.

O período transição seco/chuvoso, devido a enchente do Pantanal, teve as maiores variações nas medidas de condutividade térmica, principalmente no parte noturna do dia. O período chuvoso apresentou oscilações durante todo o dia, porém com pequena amplitude entre o máximo e mínimo.

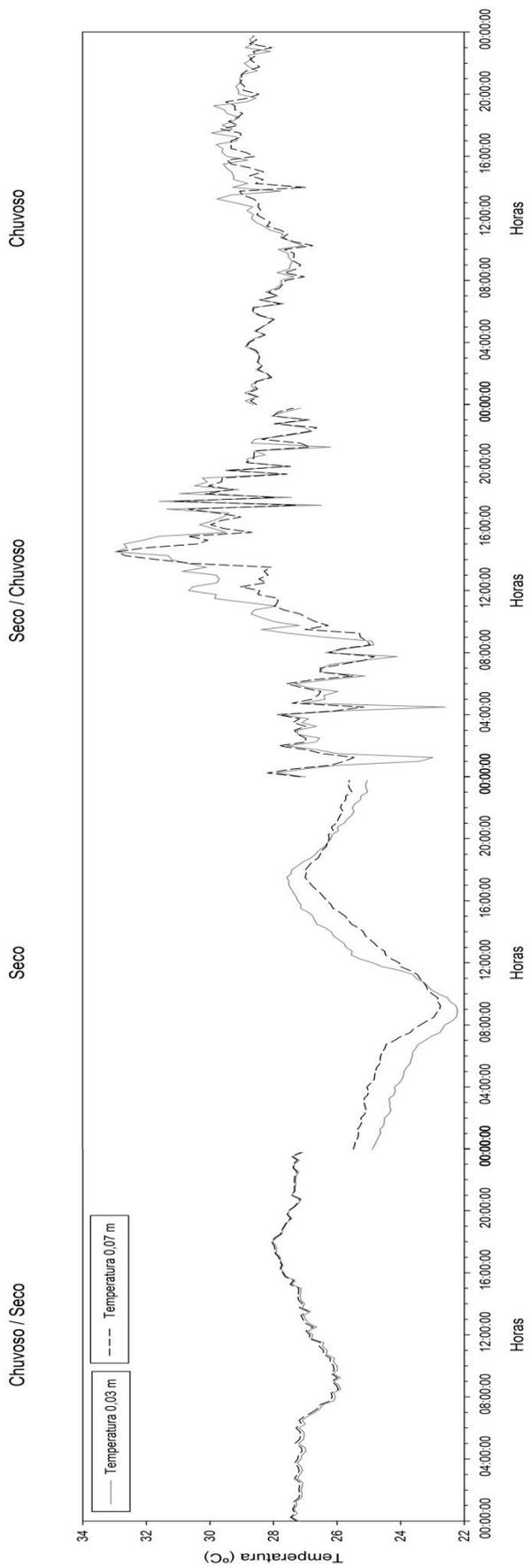


Figura 21. Médias horárias de temperatura nas profundidades 0,03 m e 0,07 m.

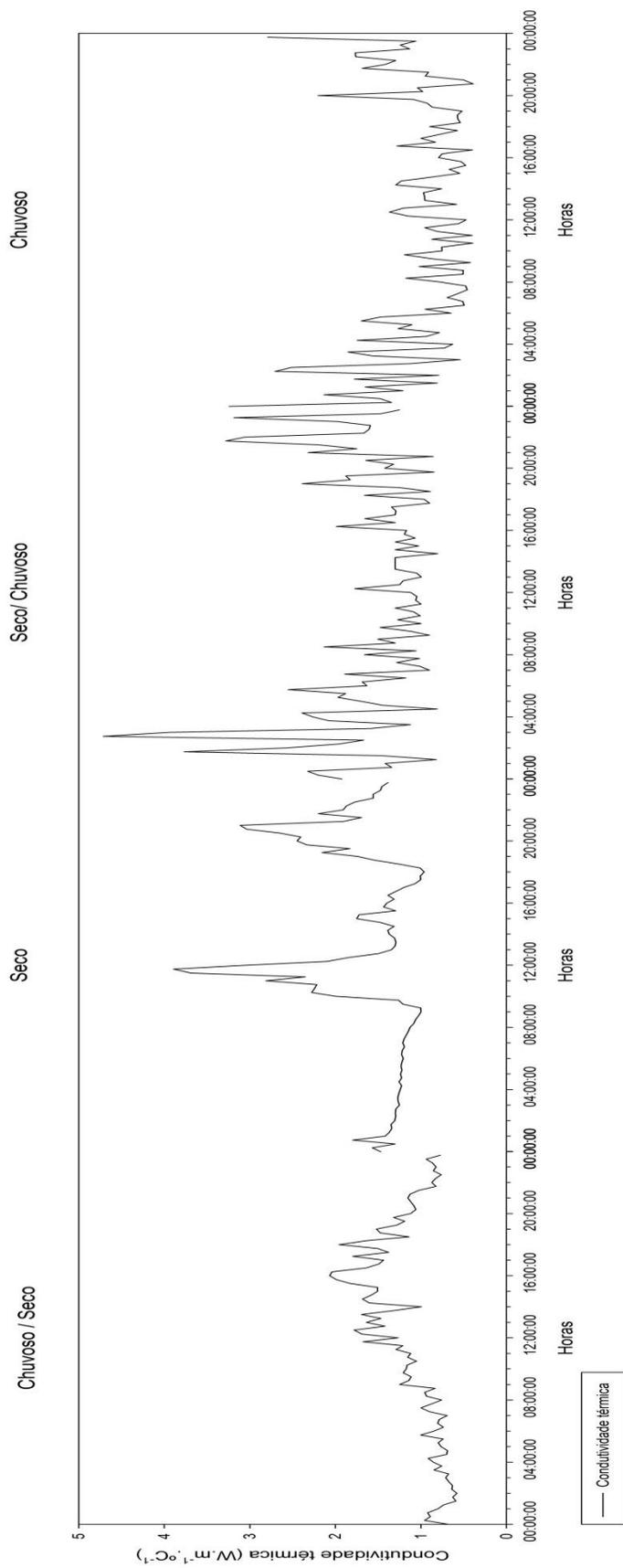


Figura 22. Médias horárias da condutividade térmica entre as profundidades 0,03 m e 0,07 m.

Conforme os resultados encontrados por Heiland (1940), Holman (1983) e Mongelli et al. (1994), os valores de condutividade térmica, referentes a um mesmo local, podem ser muito discrepantes entre si, caso haja variações de umidade e temperatura, mudanças que podem ser observadas nos períodos onde o conteúdo de água foi variável, gerando sucessivos aumentos e diminuições nos valores de condutividade térmica.

## 5. CONCLUSÃO

O pulso de inundação da região pantaneira exerceu influência na variabilidade dos valores analisados neste trabalho, uma vez que os poros do solo estavam completamente cheios de água, facilitando o transporte de calor, ao contrário do período seco, no qual a presença de ar nos poros dificulta a condução do calor. O conteúdo de água variável faz com que o sistema se comporte de maneiras diferentes durante os quatro períodos estudados, notando-se uma sazonalidade nos extremos, solo completamente seco e completamente inundado, sazonalidade corroborada pelo teste de variância exposto no trabalho.

A condutividade térmica e o fluxo de calor no solo tiveram seus maiores valores na presença de água, mostrando forte indício de ser a principal causadora do acréscimo de energia sob o dossel no período de inundação, acarretando maiores temperaturas médias no período chuvoso.

Em contrapartida, o gradiente de temperatura obteve suas maiores médias na ausência de água, devido a dificuldade do solo seco em conduzir calor para as camadas inferiores, armazenando energia e causando aumento na diferença de temperatura entre as camadas.

Na análise da variação diária dos componentes da equação de Fourier, foi observado uma diferença de cerca de uma hora nos maiores valores de fluxo de calor no solo, entre o período seco e os períodos transição seco/chuvoso e chuvoso. No período seco o máximo fluxo ocorreu por volta de 12 horas, e nos outros períodos ocorrendo por volta das 13 horas. Diferença essa causada pela diferença de calor específico da água e do ar presente no solo, onde a presença de água com calor específico maior do que o do ar causa um atraso na condução de calor para as camadas inferior do solo.

A variação da radiação global durante os dias de chuva, devido a nebulosidade, contribuiu na maior amplitude entre os valores das médias horárias do fluxo de calor no solo.

O período de transição chuvoso/seco foi o que apresentou os menores valores de fluxo de calor no solo e gradiente de temperatura, uma vez que um pequeno gradiente de temperatura gera um pequeno fluxo de calor.

A presença de água no período chuvoso e dificulta a perda de energia para o ambiente à noite, contrariamente ao período seco, onde os máximos fluxos positivos e negativos foram maiores que os dos outros períodos.

O período de transição seco/chuvoso, com o início das chuvas, foi o que apresentou maior amplitude nos valores do gradiente térmico. Com o Cambarazal totalmente inundado, a estabilidade causada pela água fez com que as médias horárias do gradiente térmico do período chuvoso variassem menos do que o período de transição seco/chuvoso.

A regressão linear entre condutividade térmica e gradiente de temperatura mostrou que para valores de gradiente de temperatura baixos, menores que  $19\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ , a condutividade térmica apresenta grande variação, apresentando uma maior constância para valores de gradientes maiores que o valor supracitado.

O período seco foi o período em que melhor observa-se as curvas de temperatura, onde com baixa amplitude nas diferenças entre os horários, deixou evidente que a temperatura da profundidade 0,03 m é maior que a inferior durante o dia, alternando-se com o cessar da radiação solar.

No período chuvoso, com a presença de água, inibe-se diferenças de temperatura entre o máximo e o mínimo diário, fazendo com que as temperaturas não oscilem muito no decorrer do dia.

A condutividade térmica diária oscilou mais nos dias úmidos, uma vez que foi estimada utilizando valores de fluxo de calor e gradiente de temperatura, valores estes sensíveis ao conteúdo de água no solo. Acompanhando o comportamento das outras variáveis, a condutividade térmica teve menor amplitude entre os valores no período seco, com exceção de um pico ao meio dia, horário de maior incidência de radiação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, R. L. C. Contribuição da Geotermia Rasa aos Estudos Ambientais. Editora da Universidade do Amazonas, 88p. 1999.

ARAÚJO, R. L. C.; SILVA, R. M.; CARVALHO, J. S.; MONTEIRO, I. B. Influência ambiental sobre a estrutura geotermal rasa. Revista Brasileira de Geofísica. V. 22(1), p. 33-44, 2004.

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, p. 1073-1078, 2001.

ALVARENGA, S. M.; BRASIL A. E.; PINHEIRO R.; KUX H. J. H. Estudo Geomorfológico aplicado à Bacia do alto Rio Paraguai e Pantanaís Matogrossenses. Boletim Técnico Projeto RADAM/BRASIL. Série Geomorfologia, Salvador 187: 89–183, 1984

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. 55p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação), Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2006.

BELLAVER, V. Difusividade Térmica Do Solo Em Área Monodominante De Cambará No Norte Do Pantanal Mato-Grossense. Cuiabá, 2009. 54F. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso).

BORGES, P.F. Crescimento, desenvolvimento e balanço de radiação do algodoeiro herbáceo BRS-201 em condições irrigadas. Campina Grande, 2002. 99F. Dissertação

(Mestrado em Meteorologia) – Departamento de Ciência Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande.

BUCHAN, G. D., SMITH, K. A., MULLINS, C. E. Soil temperature regime. Soil analysis: physical methods. Marcel Dekker, New York, 551-612, 1991.

CARSLAW, H. S. & JAEGER, J. C. Conduction of Heat in Solids. Londres, Oxford University Press. p. 638, 1959.

CASTELNOU, M. N.; FLORIANI, D.; VARGAS, I. A.; DIAS, J. B. Sustentabilidade socioambiental e diálogo de saberes: o Pantanal mato-grossense e seu espaço vernáculo como referência. Desenvolvimento e Meio Ambiente, Editora UFPR, n. 7, p. 41-67, jan/jun. 2003.

DA SILVA, C. J. Ecological basis for the management of the Pantanal-Upper Paraguay River basin. In Smits, A. J. M., P. H. Nienhuis & R. S. E. W. Leuven (eds), New Approaches to River Management. Bachuys Publishers, Leiden: 97–117, 2000.

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.

DECICO, A. A condutividade térmica dos solos. Piracicaba, (Tese Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” /USP), 73p, 1967.

DECICO, A.; REICHARDT, K. Determinação das propriedades térmicas do solo em condições de campo. Ciência e Cultura, Campinas, v.28, n.3, p.359-362, 1976.

DICKINSON, R.E., HENDERSON-SELLERS, A., ROSENZWEIG, C. & SELLERS, P.J. Evapotranspiration models with canopy resistance for use in climate models, a review. Agricultural & Forest Meteorology, 54, 373–388, 1991.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em solos. Manual de Métodos de Análises de solo. 2ªed. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

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.

FAROUKI, O.T. Thermal Properties of Soils, Series on Rock and Soil Mechanics, Vol. 11, 136p. 1986.

FILIPOVÁ, L., HÉDL, R., COVACEVICH, N. Variability of soil types in wetlands meadows in the south of the Chilean Patagonia. *Chilean Journal and Agricultural Research*, v. 70(2), p.266-277, 2010.

FOLEY, J. A.; COSTA, M. H.; DELIRE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Green surprise. How terrestrial ecosystems could affect earth's climate. *Frontier Ecology Environmet*. v. 1 n. 1, p. 38-44, 2003.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; PEREIRA, A. B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. Parte da tese de doutorado do primeiro autor, em Energia na Agricultura, apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP), Botucatu (SP) 2001.

GAO, Z., HORTON, R., WANG L., LIU, H., WEN, J. An improved force-restore method for soil temperature prediction. *European Journal of Soil Science*, 59, 972–981, 2008.

GEIGER, R. Manual de Micrometeorologia. Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1980.

GIRARD, P.; DA SILVA C. J.; ABDO M. River-groundwater interactions in the Brazilian Pantanal. The case of the Cuiaba´ River. *Journal of Hydrology* 283: 57–66, 2003.

GOMES, A.S.; CUNHA, N.S.; PAULETTO, E.A.; et al. Solos de várzea: Uso e Manejo. In: MARCANTONIO, G. Solos e irrigação. Porto Alegre: Editora UFRGS, p.64-79, 1992.

GOPAL, B., JUNK, W. J. Biodiversity in wetlands: an introduction. In: B. Gopal, W. J. Junk and J. A. Davis (eds.), *Biodiversity in Wetlands: Assessment, Function and Conservation*, Vol. 1, Backhuys Publishers b.V., Leiden, pp. 1–10, 2000.

HAMZA, V.M. Terrestrial heat flow in the alkaline intrusive complex of Poços de Caldas, Brazil. *Tectonophysics* 83, 45– 62, 1982.

HAMZA, V.M., MUÑOZ, M. Heat flow map of South America. *Geothermics* 25 (6), 599–646, 1996.

HAMZA, VALIYA M.; DIAS, FERNANDO J. S. SILVA; GOMES, ANTONIO J. L.; TERCEROS, ZENÓN G. DELGADILHO. Numerical and functional representations of regional heat flow in South America.. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, v. 152, iss. 4, p. 223-256, 2005.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J. L. P.; HOFMANN, G. S. O clima da RPPN SESC-Pantanal. Porto Alegre, UFRGS, 27 p., Abril, 2003.

HEILLAND, C. A. *Geophysical Exploration*. New York, Prentice Hall. 1013 p. 1940.

HEUSINKVELD, B.G; JACOBS, A.F.G; HOLTSLAG, A.A.M; BERKOWICZ, S.M. Surface energy balance closure in an arid region: role of soil heat flux. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.122, p.21–37, 2004.

- HOLMAN, J. P. Transferência de Calor. São Paulo-SP. Mc. Graw Hill, 639 p.,1983.
- INCROPERA, F. P.; WITT, D.P.. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., São Paulo. Cap. 1, p. 2-14. 1981.
- INCROPERA, F.P.; DE WITT, D.P. Fundamentals of heat and mass transfer. New York: John Wiley & Sons, 886p, 1996.
- 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.
- KIRKHAM, D., Powers, W.L. *Advanced Soil Physics*. Wiley, New York, 534 p., 1972.
- 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.
- MONGELLI, F. Theoretical analysis of heat transfer in semi-infinite aquifer. *Geothermics*, v. 23, p. 143-150, 1994.
- NOVAIS, J. W. Z., RODRIGUES, T. R., CURADO, L. F. A., DE OLIVEIRA, A. G., PAULO, S. R., NOGUEIRA, J. S. Sazonalidade da Condutividade Térmica do Solo no Norte do Pantanal Mato-Grossense. XVII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – Guarapari. Espírito Santo, 2011. (a)
- NOVAIS, J. W. Z., RODRIGUES, T. R., CURADO, L. F. A., DE OLIVEIRA, A. G., PAULO, S. R., NOGUEIRA, J. S. Variabilidade Sazonal Horária das Propriedades Térmicas em Gleissolo Háptico no Norte do Pantanal. *Semina Ciências Agrárias*. Aceito para publicação em 15 de Julho de 2011. (b)

PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SOUSA, R.O.; et al. Manejo de solos de várzea. IN: GOMES, A.S.; PAULETTO, E.A. Manejo do solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, p.61-87, 1999.

PHILIP, J.R. Theory of heat flux meters. *Journal Geophysical Resource*. 66(2), 571-579. 1961.

PIMENTEL, E. T.; ARAUJO, R. L. C.; MONTEIRO, I. B.; SILVA, R. M. Estudo da geotermia rasa na cidade de Humaitá-AM. *Revista Brasileira de Geofísica*. V. 28(4), p. 563-578, 2010.

PREVEDELLO, C.L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba, salesward-Discovery, 1996.

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, p.863-876, 2004.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. Solo Planta e Atmosfera: Conceitos, Processos e Aplicações – Barueri, SP: Manole. p.50, 2004.

SCHNEIDER, F. M. Modificações na temperatura do solo causadas por estufas de polietileno transparente de baixa densidade em Santa Maria, RS. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. 37-42, 1993.

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

SELLERS, W. D., Physical Climatology. Chicago: The University of Chicago Press. 272 p, 1974.

SILVA, R. C. Estudo do balanço de radiação no Pantanal sul mato-grossense. 2003. 213 f, Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.

SOUZA, J. L., ESCOBEDO, J. F. Construção de um saldo radiômetro com termopilha de filme fino e avaliação de sua performance. Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 10, 29-36, 1995.

TOULOUKIAN, Y. S., POWELL, R. W.; YO, C. Y. e NICOLAOU, M. C., Thermophysical Properties of Matter, vol. 10, IFI/PLENUM, 1973.

VAN LOON, W.K.P., BASTINGS, H. M. H., MOORS, E. J. Calibration of soil heat flux sensors. Agricultural and Forest Meteorology. 1-8, 1998.

VAN WIJK, W.R. (ed.). Physics of plant environment. Amsterdam: North Holland Publishing Company. 1963, 382p, 1966.

WOODWARD, F.I., SHEEHY, J.E. Principles and Measurements in Environmental Biology. Butterworths, London, UK, 263 pp. 1983.

## **7. REFERÊNCIAS CONSULTADAS**

DOWNING, D., CLARK, J. Estatística aplicada 2ª Edição. Saraiva. São Paulo, 351p. 2006.

FREUND, J. E. Estatística Aplicada, 11ª Edição, Bookman, Porto Alegre-RS. 2006.

OMETTO, J.C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 440p, 1981.

SOKAL, R.R.; ROHLF, F.J. Biometry. W.H. Reeman and Company. New York, 887p. 1998.

VAREJÃO, M. A. S. Meteorologia e Climatologia. Versão Digital. Recife-PE, 2006.