













Dinâmica dos fluxos de radiação de onda longa no Pantanal Mato-grossense

Thamiris Amorim dos SANTOS *¹, Haline Josefa Araujo da SILVA ¹, Sergio Roberto DE PAULO ¹,
Iramaia Jorge Cabral DE PAULO ¹, Rafael Silva PALÁCIOS ¹, Leilane Gomes DUARTE ¹,
Valdicleia Gonçalves SANTANA ², Jaqueline Pereira da SILVA ², João Basso MARQUES ¹,
Leone Francisco Amorim CURADO ¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.

² Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.

*E-mail: thamirisflorestal@gmail.com

Submetido em 26/10/2023; Aceito em 20/03/2024; Publicado em: 31/03/2024.

RESUMO: O Pantanal brasileiro é um bioma sazonalmente inundável, onde a compreensão microclimática é indispensável para compreender a importância desse bioma em escala global. O objetivo principal deste estudo foi analisar a dinâmica dos fluxos de radiação de onda longa no Pantanal, bem como as implicações de suas variações sazonais e interanuais na micrometeorologia da região. O estudo foi realizado em uma área sazonalmente inundável no Pantanal brasileiro no estado de Mato Grosso entre 16°29'04" e 16°29'10" S; e entre 56°25'25" e 56°25'36" no sítio experimental localizado na Reserva do Patrimônio Natural (RPPN), assistido pelo Serviço Social do Comércio, conhecido como SESC-Pantanal, local no qual a estação meteorológica automática mensura e armazena a radiação solar, temperatura do ar e do solo, velocidade do vento e precipitação onde foi calculado a evapotranspiração, índice de aridez, fluxo de calor sensível e latente. Há uma maior amplitude da temperatura do ar no período seco (maio a setembro) em função de frentes frias, já no período chuvoso a média de temperatura, Rn e ETo é maior devido a influência da água superficial e maior radiação incidente. A sazonalidade das águas no Pantanal influencia diretamente na temperatura, balanço de energia, evapotranspiração e umidade relativa.

Palavras-chave: micrometeorologia; fluxo de energia; área inundável; Razão de Bowen.

Dynamics of long-wave radiation flows in the Pantanal Mato-Grossense

ABSTRACT: The Brazilian Pantanal is a seasonally flooded biome, where microclimatic understanding is essential to understand the importance of this biome on a global scale. The main objective of this study was to analyze the dynamics of longwave radiation fluxes in the Pantanal, as well as the implications of their seasonal and interannual variations on the region's micrometeorology. The study was carried out in a seasonally floodable area in the Brazilian Pantanal in the state of Mato Grosso between 16°29'04" and 16°29'10" S; and between 56°25'25" and 56°25'36" at the site experimental located in the Natural Heritage Reserve (RPPN), assisted by the Social Service of Commerce, known as SESC-Pantanal, where the automatic meteorological station measures and stores solar radiation, air and soil temperature, wind speed and precipitation where evapotranspiration, aridity index, sensible and latent heat flux were calculated. There is a greater range of air temperature in the dry period (May to September) due to cold fronts, while in the rainy period the average temperature, Rn and ETo is greater due to the influence of surface water and greater incident radiation. The seasonality of water in the Pantanal directly influences temperature, energy balance, evapotranspiration and relative humidity.

Keywords: micrometeorology; energy flow; floodable area; Bowen Ratio.

1. INTRODUÇÃO

As zonas úmidas são caracterizadas por variabilidades hidrológicas sazonais e interanuais que afetam sua estrutura e funcionamento, como consequência das inundações anuais periódicas dos rios das áreas adjacentes (JUNK; NUNES DA CUNHA, 2005; MITSCH; GOSELINK, 2000). A magnitude, duração e frequência das inundações influenciam e modulam as variações espaciais e temporais dos processos físicos, químicos e biológicos dessas regiões (JUNK; NUNES DA CUNHA, 2005; TOCKNER et al., 2010), que pode influenciar a dinâmica dos fluxos de matéria e energia nas zonas úmidas.

Nos estudos das áreas úmidas, o Pantanal brasileiro é um dos mais importante em termos de ecossistema, com alta paisagem e diversidade ecológica (JUNK; NUNES DA CUNHA, 2005; ALHO; SABINO, 2011). Assim, sua conservação é de grande importância para as comunidades humanas locais devido ao seu valor como um ecossistema único e diversificado (ALHO; SABINO, 2011), o que faz do Pantanal uma região ecologicamente importante, visto que suas características afetam fortemente o clima regional, interagindo dinamicamente com a atmosfera (EHHALT et al., 2001).

Diante da intensa variabilidade microclimática existente no Pantanal, o estudo dos fluxos de energia que compõe o balanço é de grande interesse, visto que o pulso de inundação que controla e regula o microclima da região (BIUDES et al., 2009) afeta também as partições de energia que variam sazonal e anualmente.

Dentre os fatores climáticos utilizados para entender a interação entre a superfície e a atmosfera, os que mais requerem atenção e esforços para se compreender as dinâmicas dos ecossistemas são os relacionados ao balanço de energia, visto que o desequilíbrio energético superficial em estudos micrometeorológicos permanece um problema não resolvido (FOKEN et al., 2011), o que tem exigido grandes esforços de pesquisadores para entenderem possíveis inconsistências teóricas, instrumentais e metodológicas que auxiliem na justificativa do problema de desequilíbrio energético na superfície. (WILSON et al., 2002; MAUDER et al., 2007; ONCLEY et al., 2007; FOKEN, 2008; FOKEN et al. 2011; LEUNING et al., 2012; WOHLFAHRT; WIDMOSER, 2013).

Dada a urgência em compreender o funcionamento, as interações e as respostas dos ecossistemas do Pantanal às mudanças sazonais ou interanuais (LEVIN, 1992; BENKE et al., 2000; JUNK; NUNES DA CUNHA, 2005), é crucial realizar estudos sobre as trocas de energia entre a superfície e a atmosfera. Esses estudos são essenciais para entender as interações entre as variáveis meteorológicas envolvidas nesses processos. Alterações na distribuição de energia entre calor latente e calor sensível têm impactos significativos nos fluxos da superfície, resultando em modificações no microclima (FOLEY et al., 2003).

Durante a noite, os fluxos de ondas longas desempenham um papel fundamental como indicadores das trocas de calor entre a superfície terrestre e a atmosfera, especialmente em situações que envolvem a formação de orvalho e geadas. Além disso, contribuem para a calibração dos Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGAs). Esses modelos dependem das parametrizações realísticas de vários processos de superfície, incluindo a partição de energia, que desempenham um papel fundamental na determinação dos campos de temperatura, de vento, de umidade e de precipitação (GALVÃO; FISCH, 2000). Por outro lado, o saldo de radiação total é importante na determinação da troca de energia durante o dia, quando ocorre a maior parte da evapotranspiração (VON RANDOW; ALVALÁ, 2006).

Diante disso, o objetivo principal deste estudo foi analisar a dinâmica dos fluxos de radiação de onda longa no Pantanal, bem como as implicações de suas variações sazonais e interanuais na micrometeorologia da região.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição do local de estudo

Este estudo foi conduzido sobre uma área de floresta sazonalmente inundável (Pantanal), localizada no estado de Mato Grosso, Brasil (entre 16°29'04"e 16°29'10" S; e entre 56°25'25 "e 56°25'36" O), a 160 km ao sudoeste da capital Cuiabá (Sanches et al., 2011) (Figura 1). Esta região é plana e está a 120 m de altura em relação ao nível do mar (NUNES da CUNHA; JUNK 2001). O sítio experimental está localizado na Reserva do Patrimônio Natural (RPPN), assistido pelo Serviço Social do Comércio (SESC-Pantanal). A região estudada é composta por uma floresta com

dominância de *Vochysia divergens* Pohl, com índice de cobertura relativa (ICR) de aproximadamente 60% (SANCHES et al., 2015).

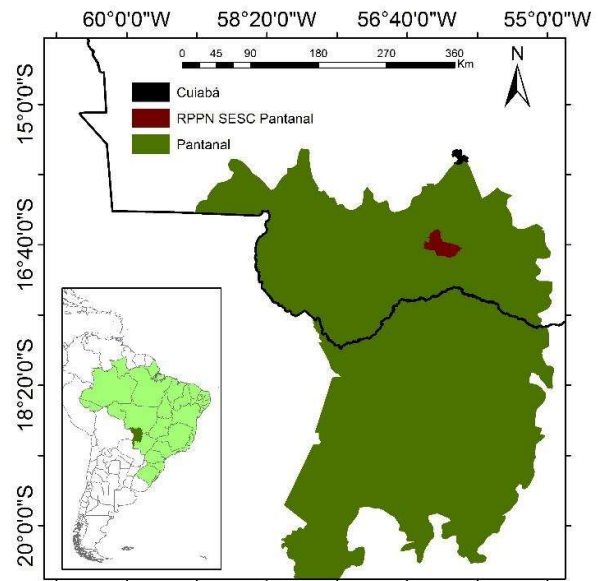


Figura 1. Localização da área de estudo, o quadro menor a localização do Brasil na América do Sul, em destaque: A reserva SESC Pantanal e a capital Cuiabá.

Figure 1. Location of the study area, the smaller picture being the location of Brazil in South America, highlighted: The SESC Pantanal reserve and the capital Cuiabá.

O clima da região é classificado como Aw, segundo o critério de classificação de Köppen, o que corresponde a verões com altos índices de precipitação e invernos secos. A precipitação anual média histórica para Cuiabá é de 1383 mm ano⁻¹, (1901-2003) indicando sazonalidade acentuada das precipitações, com as maiores taxas pluviométricas em janeiro (221 mm) e as menores em julho (10 mm) (Fantin-Cruz et al., 2011). Para o Pantanal Mato-Grossense, as características microclimáticas são semelhantes à da capital Cuiabá com precipitação média anual de 1400 mm e média anual da temperatura de 26,1 °C com um intervalo de seca bem caracterizado, de maio a setembro (NUNES da CUNHA; JUNK 2001; BIUDES et al., 2015).

2.2. Instrumentação utilizada

Para a obtenção dos dados de temperatura (em °C) e umidade (em %) do ar neste estudo, utilizamos três termohigrômetros (HMP45C, Vaisala, Inc., Woburn, MA, EUA), os quais foram posicionados a 20, 25 e 30 metros acima do nível do terreno. Para monitorar a velocidade do vento (m/s), empregamos três anemômetros (03101-L, Vaisala, Inc., Woburn, MA, EUA), posicionados nas mesmas altitudes dos termohigrômetros.

O fluxo de calor no solo foi monitorado com o sensor modelo HFP01-L20 (Hukseflux Thermal Sensors B.V., Delft, Holanda), instalado a uma profundidade de 1,0 cm. Utilizamos termistores (108-L, Campbell Scientific, Inc., Logan, Utah, EUA) para obter a temperatura do solo a 1, 3, 5, 10 e 20 cm abaixo da superfície.

A umidade do solo foi medida por sensores do tipo TDR (CS616, Campbell Scientific, Inc.), dispostos a 20, 40 e 60 cm abaixo da superfície. Para medir a radiação, utilizamos um saldo radiômetro (NRLITE, Kipp & Zonen, Delft, Holanda)

e um piranômetro (LI200X, LI-COR Biosciences, Inc., Lincoln, NE, EUA), ambos localizados a 20 metros de altitude.

A precipitação pluviométrica (mm) foi registrada por um pluviômetro (TE525MM, Texas Electronics, Inc., Dallas, TX, EUA) também posicionado a 20 metros de altura. Foram utilizados diferentes sensores meteorológicos ao longo do período de monitoramento, que ocorreu de outubro de 2011 a janeiro de 2014, com medições realizadas a cada três meses, foram coletados em intervalos de três meses, conforme indicado: outubro/2011, janeiro/2012, abril/2012, julho/2012, outubro/2012, janeiro/2013, abril/2013, julho/2013, outubro/2013 e janeiro/2014.

As leituras foram registradas e armazenadas por um datalogger modelo CR10X (Campbell Scientific, Inc., Ogden, Utah, EUA), garantindo a precisão e confiabilidade dos dados obtidos ao longo do estudo.

2.3. Métodos

As estimativas de LE e H foram obtidas pelo método da Razão de Bowen de acordo com as equações 1, 2 e 3.

$$H = (R_n - G) \frac{\beta}{\beta + 1} \tag{01}$$

$$E = \frac{R_n - G}{\beta + 1} \tag{02}$$

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \tag{03}$$

em que: H é o fluxo de calor sensível e LE é o fluxo de calor latente, ambos em W.m⁻², β é a razão de Bowen, γ é a constante psicrométrica (kPa°C⁻¹), ΔT é a diferença de temperatura (°C) entre dois níveis considerados no cálculo no perfil atmosférico, Δe é a diferença na tensão atual de vapor atmosférico (kPa), para os mesmos níveis considerados para T, R_n é a radiação líquida (MJ.m⁻².dia⁻¹) e G é o fluxo de calor no solo (MJ.m⁻².dia⁻¹). Todos os valores de LE e H foram obtidos a partir dos critérios das correções propostas por Perez et al. (1999).

A Evapotranspiração de referência (ET₀) foi estimada a partir da equação de Penman-monteith, conforme as recomendações da Food and Agriculture Organization (FAO) (ALLEN et al., 1998; DROOGERS; ALLEN, 2002; GONG et al., 2006; VALLE JÚNIOR et al., 2020; DE OLIVEIRA et al., 2021).

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \left(\frac{900}{T + 273}\right) \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 \cdot U_2)} \tag{04}$$

em que: U₂ é a velocidade do vento a 2 metros de altura (m/s), T é a temperatura média do ar (°C), e_s é a pressão de vapor de água de saturação (kPa), e_a é a pressão de vapor de água real (kPa), Δ é a inclinação da curva de pressão de vapor de água (kPa °C⁻¹).

O índice de aridez (IA), foi estimado segundo a equação de Thornthwait (1948):

$$IA = \left(\frac{ET_0 - P}{ET_0}\right) \tag{05}$$

em que: ET₀ é a evapotranspiração de referência e P é a precipitação pluviométrica, ambos em mm.

3. RESULTADOS

Na Figura 2 a seguir é possível observar as variações sazonais e interanuais da radiação global, da temperatura do ar e da umidade relativa do ar. Na Figura 3 é possível verificar os padrões sazonais e interanuais dos componentes do balanço de energia (Saldo de radiação, fluxo de calor latente e sensível), bem como a evapotranspiração de referência (ET₀). Tais padrões são característicos do local, com maiores valores do R_n no período chuvoso e com os valores de Calor Latente (LE) e Calor Sensível (H) somando mais de 95% do total de energia disponível, sendo que o maior consumo de energia no Pantanal é em forma de calor latente em todos os períodos sazonais e interanuais (SCHEDLBAUER et al. 2011, CURADO et al., 2012, MYKLEBY et al., 2016 CONSOLI et al., 2018).

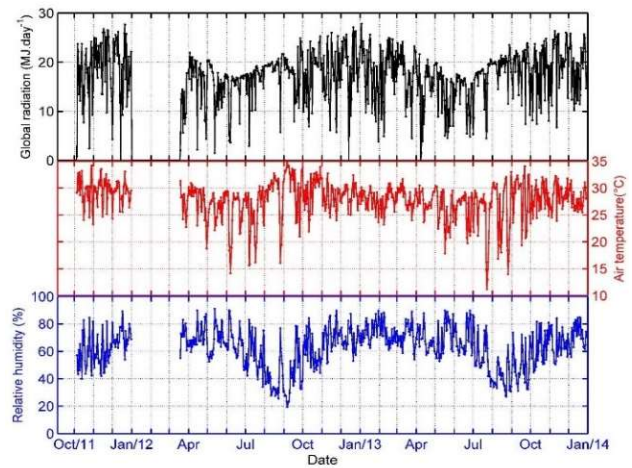


Figura 2. Radiação global (Global radiation), temperatura do ar (Air temperature) e umidade relativa (Relative humidity) no Pantanal Mato-Grossense.

Figure 2. Global radiation, air temperature and relative humidity in the Pantanal Mato-Grossense.

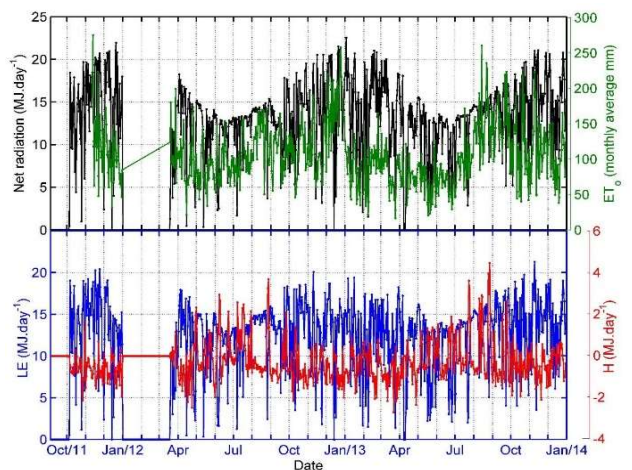


Figura 3. Radiação líquida, evapotranspiração de referência (ET₀), fluxo de calor latente (LE) e fluxo de calor sensível (H) no Pantanal Mato-Grossense.

Figure 3. Net radiation, reference evapotranspiration (ET₀), latent heat flux (LE) and sensible heat flux (H) in the Pantanal Mato-Grossense.

Os resultados apresentados na Figura 4 revelam uma relação crucial entre a evapotranspiração potencial (ET₀) e a precipitação, refletida no índice de aridez (IA). Este índice é fundamental para compreender a adequação da precipitação

em relação à demanda atmosférica da vegetação local. Notavelmente, observa-se que períodos de maiores valores de ET_0 também estão associados aos maiores valores de precipitação.

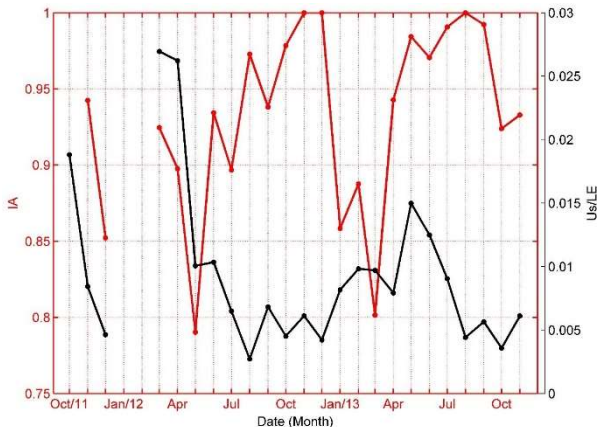


Figura 4. Índice de aridez (IA) e a relação Us/LE no Pantanal Mato-Grossense.

Figure 4. Aridity index (AI) and the Us/LE relationship in the Pantanal Mato-Grossense.

A Figura 5 apresenta a variação sazonal e interanual, com valores mensais da precipitação, da Evapotranspiração de referência, do fluxo de calor latente e da umidade do solo no Pantanal.

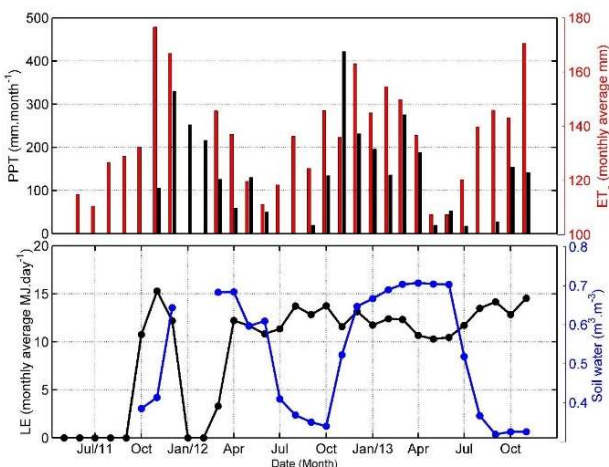


Figura 5. Precipitação mensal (PPT), evapotranspiração de referência (ET_0), fluxo de calor latente mensal (LE) e água no solo (soil water) no Pantanal Mato-Grossense.

Figure 5. Monthly precipitation (PPT), reference evapotranspiration (ET_0), monthly latent heat flux (LE) and soil water in the Pantanal Mato-Grossense.

4. DISCUSSÃO

Os valores observados na Figura 2 revelam um padrão consistente e característico da região estudada, em consonância com achados prévios em estudos similares realizados em áreas semelhantes. Por exemplo, os padrões de temperatura do ar exibem variações mais pronunciadas durante o período de estiagem (maio a setembro), conforme documentado por Nunes da Cunha; Junk (2001) e Biudes et al. (2015). Neste intervalo, alguns registros se aproximam de 10°C , sugerindo a influência de frentes frias na região. Este fenômeno é particularmente notável, considerando que parte

da estação seca coincide com o período de inverno (junho a setembro).

Por outro lado, o período de chuvas revelou valores médios mais elevados tanto na temperatura do ar quanto na umidade relativa do ar. Essa elevação é atribuída a dois fatores principais: a maior incidência de radiação solar global (devido à estação do verão) e o aumento no índice de precipitação, resultando em maior disponibilidade de energia e umidade na região. Um aspecto relevante a ser destacado durante este período é a menor oscilação na temperatura do ar, o que é consequência da maior umidade atmosférica. Esse fenômeno se torna mais evidente durante a época de inundação do Pantanal.

Na Figura 3, observa-se um padrão de partição de energia único no Pantanal, diferindo dos padrões encontrados em regiões de savanas, conforme documentado por Rodrigues et al. (2014) e Giambelluca et al. (2009). Isso sugere que a disponibilidade de água superficial desempenha um papel crucial no controle dos fluxos de energia em ecossistemas tropicais com alta sazonalidade, como destacado por Rocha et al. (2009), Vourlitis et al. (2011) e Rodrigues et al. (2013).

Essa distinção é atribuída às características únicas dos fluxos de energia no Pantanal, onde o período de inundação e o alto lençol freático (Sanches et al., 2011) resultam em níveis significativos de umidade do solo. Esta condição persiste mesmo durante os períodos sem a presença de água superficial, como evidenciado pelos valores elevados de umidade do solo e umidade relativa do ar, mesmo durante as estações secas. Achados semelhantes foram relatados por Sanches et al. (2011), que encontraram valores comparáveis de Umidade do Solo (U_s) e umidade relativa do ar.

Na Figura 4 essa característica faz surgir uma outra observação importante, o índice de aridez (IA) que indica o quão árido ou insuficiente é a precipitação para manter a vegetação local, como nos períodos de maiores valores de ET_0 tem-se também os maiores valores de precipitação se tem o índice de aridez não atingindo o valor de 1, que de acordo com Zang et al. (2015), quando os valores de IA forem próximos de 1, a aridez é caracterizada como média a alta, fato esse que ocorre em meses em que apresentam altos valores de U_s/LE e sem precipitação ou com precipitação insuficiente para atender a demanda atmosférica como nos meses de novembro e dezembro de 2013, bem como de maio a setembro de 2014.

É necessário ressaltar que os valores de LE são altos mesmo em períodos de seca, isso pode ser consequência dos altos valores de umidade do solo que foram encontrados no Pantanal, sendo a umidade do solo um fator limitante na captação e perda de água por uma comunidade vegetal, em locais em que o solo consiga armazenar maior conteúdo de água mesmo em situação de seca, faz com que a vegetação possa transpirar mais aumentando assim o consumo de energia em forma de calor latente. Esse fator é importante visto que a taxa de troca de vapor de água entre a vegetação e a atmosfera é um dos mais importantes processos de transferência de energia na interface superfície atmosfera (Kumagai et al., 2004), especialmente ao se estudar ecossistemas tropicais que podem perder de 45% a 60% da precipitação anual através da evapotranspiração (HUTYRA et al., 2005; VOURLITIS et al., 2014). Tal característica pode ser expressa por meio do índice U_s/LE representado na Figura 4 que mostra que mesmo apresentando menores valores no período de escassez de chuva, se mantém com pequenas variações (praticamente constante) nesse período, o que indica que a umidade do solo é o fator que implica

diretamente nos altos valores de LE no período seco do Pantanal.

Na Figura 5, é evidente uma notável variabilidade sazonal em todos os parâmetros analisados. É interessante observar que a evapotranspiração de referência apresenta valores mensais mais elevados durante os meses chuvosos (outubro a março). Este padrão sugere uma forte relação entre este parâmetro e a disponibilidade de energia solar, especialmente considerando que este período coincide com a estação do verão, caracterizada por uma maior incidência de energia solar.

A disponibilidade de energia solar resulta em maiores valores de saldo de radiação, como observado na Figura 5, o que, por sua vez, contribui para os aumentos significativos na evapotranspiração de referência no local. Essa relação entre radiação solar e evapotranspiração é fundamental para compreender os processos de troca de energia e umidade na atmosfera, e sua análise pode fornecer insights valiosos para a gestão e compreensão dos ciclos hidrológicos da região estudada.

5. CONCLUSÕES

Há uma maior variação da temperatura do ar no período seco (maio a setembro) influenciado principalmente pelas frentes frias, já no período chuvoso (outubro a abril) a temperatura média tem menor amplitude, devido à maior presença de água na atmosfera.

Na estação seca há uma variação mais abrupta das variáveis microclimáticas.

O maior valor médio da temperatura e umidade relativa é em função da maior radiação global e presença de água. Os maiores valores de R_n e E_{To} foram encontrados no período chuvoso que está relacionado com maior disponibilidade da energia solar e presença de água. A inundação do Pantanal Mato-Grossense influencia diretamente no balanço de radiação e energia.

6. REFERÊNCIAS

- DE OLIVEIRA, R. G.; JÚNIOR, L. C. G.; SILVA, J. B.; ESPÍNDOLA, D. A. L. F.; LOPES, R. D.; NOGUEIRA, J. S.; CURADO, L. F. A.; RODRIGUES, T. R. Temporal trend changes in reference evapotranspiration contrasting different land uses in southern Amazon basin. **Agricultural Water Management**, v. 250, e106815, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106815>
- DROOGERS, P.; ALLEN, R. G. Estimating reference evapotranspiration under inaccurate data conditions. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 16, p. 33-45, 2002.
- GONG, L.; XU, C.; CHEN, D.; HALLDIN, S.; CHHEN, D. C. Sensitivity of the Penman-Monteith reference evapotranspiration to key climatic variables in the Changjiang (Yangtze River) basin. **Journal of Hydrology**, v. 329, n. 3-4, p. 620-629, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.03.027>
- JÚNIOR, L. C. G. V.; VENTURA, T. M.; GOMES, R. S. R.; NOGUEIRA, J. S.; LOBO, F. A.; VOURLITIS, G. L.; RODRIGUES, T. R. Comparative assessment of modeled and empirical reference evapotranspiration methods for a Brazilian savanna. **Agricultural Water Management**, v. 232, e106040, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106040>
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 2006. 300p. (Irrigation and Drainage, nº 56)
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, n. 38, 1948. 55-94p.
- ALHO, C. J. R.; SABINO, J. A conservation agenda for the Pantanal's biodiversity. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, p. 327-35, 2011.
- BENKE, A. C.; CHAUBEY, I. WARD, G. M.; DUNN, E. L. Flood pulse dynamics of an unregulated river floodplain in the southeastern U. S. coastal plain. **Ecology**, v. 81, n. 10, p. 2730-2741, 2000. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[2730:FPDOAU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[2730:FPDOAU]2.0.CO;2)
- BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L.; MACHADO, N. G.; ARRUDA, P. H. Z.; NEVES, G. A. R.; LOBO, F. A.; NEALE, C. M. U.; NOGUEIRA, J. S. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 202, p. 112-124, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.12.008>
- BIUDES, M. S.; JÚNIOR, J. C. H.; NOGUEIRA, J. S.; SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em cambarazal e pastagem no norte do Pantanal pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 56-64, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200003>
- CONSOLI, S.; MILANI, M.; CIRELLI, G.; BARBAGALLO, S.; MARZO, A.; VANELLA, D.; TOSCANO, A. Energy and water balance of a treatment wetland under Mediterranean climatic conditions. **Ecological Engineering**, v. 116, p. 52-60, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.02.029>
- CURADO, L. F. A.; NOGUEIRA, J. S.; SANCHES, L.; BIUDES, M. S.; RODRIGUES, T. R. Interannual Variability of Energy Flux in Atmospheric Instability Conditions at Pantanal of Mato Grosso - Brazil. **Atmospheric and Climate Sciences**, v. 2, p. 518-524, 2012. <https://doi.org/10.4236/acs.2012.24046>
- EHHALT, D.; PRATHER, M.; DENTENER, F.; DERWENT, R.; DLUGOKENSKY, E. et al. Atmospheric chemistry and greenhouse gases. In: **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, NY: Cambridge University Press, 2001. p. 239-287.
- FANTIN-CRUZ, I.; PEDROLLO, O.; CASTRO, N. M.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; HAMILTON, S. K. Historical reconstruction of floodplain inundation in the Pantanal (Brazil) using neural networks. **Journal of Hydrology**, v. 399, n. 3-4, p. 376-384, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.01.014>
- FOKEN, T.; AUBINET, M.; FINNIGAN, J. J.; LECLERC, M. Y.; MAUDER, M.; U, K. T. P. Results of a panel discussion about the energy balance closure correction for trace gases. **American Meteorological Society**, v. 92, n. 4, p. ES13-ES18, 2011.
- FOKEN, T. The energy balance closure problem: an overview. **Ecological Applications**, v. 18, n. 6, p. 1351-1367, 2008. <https://doi.org/10.1890/06-0922.1>
- FOLEY, J. A.; COSTA, M. H.; DELIRE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Green surprise, how terrestrial ecosystems could affect earth's climate. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 1, n. 1,

- p. 38-44, 2003. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0038:GSHTEC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0038:GSHTEC]2.0.CO;2)
- GALVÃO, J. A. C.; FISCH, G. Balanço de radiação em área de pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2000.
- GIAMBELLUCA, T. W.; SCHOLZ, F. G.; BUCCI, S. J.; MEINZER, F. C.; GOLDSTEIN, G.; HOFFMANN, W. A.; FRANCO, A. C.; BUCHERT, M. P. Evapotranspiration and energy balance of Brazilian savannas with contrasting tree density. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 8, p. 1365-1376, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.03.006>
- HUTYRA, L. R.; MUNGER, J. W.; NOBRE, C. A.; SALESKA, S. R.; VIEIRA, S. A.; WOFYSY, S. C. Climatic variability and vegetation vulnerability in Amazônia. **Geophysical Research Letters**, v. 32, n. 24, 2005. <https://doi.org/10.1029/2005GL024981>
- PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBÁÑEZ, M.; ROSELL, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 97, n. 3, p. 141-150, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(99\)00080-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(99)00080-5).
- SANCHES, L.; DIAS, V. R. M.; SALLO, F. S. S.; PALÁCIOS, R. S.; VALENTINI, C. M. A.; NOGUEIRA, J. S. Composição florística e estrutura da comunidade vegetal nas fitofisionomias cambarazal e acurizal no norte do pantanal. In: Maria Corette Pasa. (Org.). **Múltiplos olhares sobre a biodiversidade IV**. 1 ed. Cuiabá: Carlini e Caniato, 2015. p. 210-226.
- SANCHES, L.; VOURLITIS, G. L.; ALVES, M. de C.; PINTO-JÚNIOR, O. B.; NOGUEIRA, J. de S. Seasonal patterns of evapotranspiration for a *Vochysia divergens* forest in the Brazilian Pantanal. **Wetlands**, v. 31, p. 1215-1225, 2011. <https://doi.org/10.1007/s13157-011-0233-0>
- LEUNING, R.; GORSEL, E. V.; MASSMAN, W. J.; ISAAC, P. R. Reflections on the surface energy imbalance problem. **Agricultural and Forest Meteorology**, 156, 65-74, 2012.
- LEVIN, S. A. The problem of pattern and scale in ecology: The Robert H. MacArthur Award Lecture. **Ecology**, v. 73, n. 6, p. 1943-1967, 1992. <https://doi.org/10.2307/1941447>
- MAUDER, M.; JEGEDE, O. O.; OKOGBUE, E. C.; WIMMER, F.; FOKEN, T. Surface energy balance measurements at a tropical site in West Africa during the transition from dry to wet season. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 89, p. 171-183, 2007. <https://doi.org/10.1007/s00704-006-0252-6>
- MITTSCH, W. J.; GOSSELINK, J. G. The Value of Wetlands: Importance of Scale and Landscape Setting. **Ecological Economics**, v. 35, n. 1, p. 25-33, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00165-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00165-8)
- MYKLEBY, P. M.; LENTERS, J. D.; CUTRELL, G. J.; HERRMAN, K. S.; ISTANBULLUOGLU, E.; SCOTT, D. T.; TWINE, T. E.; KUCHARIK, C. J.; AWADA, T.; SOYLU, M. E.; DONG, B. Energy and water balance response of a vegetated wetland to herbicide treatment of invasive *Phragmites australis*. **Journal of Hydrology**, v. 539, p. 290-303, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.015>
- NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W. J. Distribution of woody plant communities along the flood gradient in the Pantanal of Poconé, Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v. 27, n. 2, p. 63-70, 2001.
- ONCLEY et al. The Energy Balance Experiment EBEX-2000. Part I: overview and energy balance. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 123, p. 1-28, 2007. [10.1007/s10546-007-9161-1](https://doi.org/10.1007/s10546-007-9161-1)
- ROCHA, H. R.; MANZI, A. O.; CABRAL, O. M.; MILLER, S. D.; GOULDEN, M. L.; SALESKA, S. R.; COUPE, N. R.; WOFYSY, S. C.; BORMA, L. S.; ARTAXO, P.; VOURLITIS, G.; NOGUEIRA, J. S.; CARDOSO, F. L.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; FREITAS, H. C.; RANDOW, C. V.; AGUIAR, R. G.; MAIA, J. H. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, n. G1, 2009. <https://doi.org/10.1029/2007JG000640>
- RODRIGUES, T. R.; VOURLITIS, G. L.; LOBO, F. A.; OLIVEIRA, R. G.; NOGUEIRA, J. S. Seasonal variation in energy balance and conductance for a tropical savanna ecosystem of South-Central Mato Grosso, Brazil. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 119, n. 1, p. 1-13, 2014. <https://doi.org/10.1002/2013JG002472>
- RODRIGUES, T. R.; PAULO, S. R.; NOVAIS, J. W. Z.; CURADO, L. F. A.; NOGUEIRA, J. S.; OLIVEIRA, R. G.; LOBO, F. A.; VOURLITIS, G. L. Temporal patterns of energy balance for a Brazilian tropical savanna under contrasting seasonal conditions. **International Journal of Atmospheric Sciences**, v. 2013, p. 1-9, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/326010>.
- SCHEDLBAUER, J. L.; OBERBAUER, S. F.; STARR, G.; JIMENEZ, K. L. Controls on sensible heat and latent energy fluxes from a short-hydroperiod Florida Everglades marsh. **Journal of Hydrology**, v. 411, n. 3-4, p. 331-341, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.014>
- TOCKNER, K.; PUSCH, M.; BORCHARDT, D.; LORANG, M. S. Multiple stressors in coupled river-floodplain ecosystems. **Freshwater Biology**, v. 55, p. 135-151, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02371.x>
- TURNER, D. P.; RITTS, W. D.; COHEN, W. B.; GOWER, S. T.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W.; WOFYSY, S. C.; URBANSKI, S.; DUNN, A. L.; MUNGER, J. W. Scaling Gross Primary Production (GPP) over boreal and deciduous forest landscapes in support of MODIS GPP product validation. **Remote Sensing of Environment**, v. 88, n. 3, p. 256-270, 2003. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.06.005>
- VON RANDOW, R. C. S.; ALVALÁ, R. C. S. Estimativa da radiação de onda longa atmosférica no Pantanal Sul Mato-Grossense durante os períodos secos de 1999 e 2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 398-412, 2006.
- VOURLITIS, G. L.; LOBO, F. A.; ZEILHOFER, P.; NOGUEIRA, J. S. Temporal patterns of net CO₂ exchange for a tropical semideciduous forest of the southern Amazon Basin. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 116, n. G3, 2011. <https://doi.org/10.1029/2010JG001524>
- VOURLITIS, G. L.; NOGUEIRA, J. S.; LOBO, F. A.; JR. O. B. P. Variations in evapotranspiration and climate for an Amazonian semi-deciduous forest over seasonal, annual, and El Niño cycles. **International Journal of Biometeorology**, v. 59, p. 217-230, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0837-1>
- JUNK, W. J., NUNES DE CUNHA, C. Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological**

- Engineering**, v. 24, n. 4, p. 391-401, 2005.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.11.012>
- KUMAGAI, T.; SAITOH, T. M.; SATO, Y.; MOROOKA, T.; MANFROI, O.; KURAJI, K.; SUZUKI, M. Transpiration, canopy conductance and the decoupling coefficient of a lowland mixed dipterocarp forest in Sarawak, Borneo: dry spell effects. **Journal of Hydrology**, v. 287, n. 1-4, p. 237-251, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.10.002>
- WILSON, K. et al. Energy balance closure at FLUXNET sites. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 113, n. 1-4, p. 223-243, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00109-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00109-0)
- WOHLFAHRT, G.; WIDMOSER, P. Can an energy balance model provide additional constraints on how to close the energy imbalance. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 169, p. 85-91, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2012.10.006>

Agradecimentos: ao Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado do primeiro autor (código de financiamento 001) e ao Instituto Nacional de Áreas Úmidas (INAU/INPP) pelo apoio através dos projetos: Aspectos Ecofisiológicos na Dinâmica de Trocas Líquidas de CO₂ (NEE), CH₄, Evapotranspiração e de Energia no Pantanal Mato-grossense; Medidas de Trocas Líquidas de CO₂ (NEE), CH₄, Evapotranspiração e de Energia no Pantanal Mato-grossense; Aspectos Alométricos na Dinâmica de Trocas Líquidas de CO₂ (NEE), CH₄, Evapotranspiração e de Energia no Pantanal Mato-grossense.

Contribuição dos autores: T. A. S – Conceituação, Metodologia e Redação (revisão e edição); H. J. A. S – Metodologia e Análise estatística; S. R. P – Validação; R. P. S – Aquisição de Financiamento e Redação (esboço original); L. G. D – Administração e Supervisão; V. G. S – Investigação ou Coleta de dados; J. P. S - Investigação ou Coleta de dados; J. B. M – Validação e Redação (esboço original); L. F. A. C - Conceituação, metodologia, análise estatística, validação, redação, revisão e edição.

Financiamento: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

Disponibilização de dados: Os dados do estudo são disponibilizados pelo Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental em parceria Base Avançadas de Pesquisas do Pantanal (BAPP) – Universidade Federal de Mato Grosso.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses. As entidades de apoio não tiveram qualquer papel na concepção do estudo; na coleta, análise ou interpretação de dados; na redação do manuscrito ou na decisão de publicação dos resultados.

All authors read and agreed to the published version of the manuscript.