

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

**ANÁLISE SAZONAL E INTERANUAL DO BALANÇO
DE ENERGIA NO PANTANAL MATO-GROSSENSE.**

LEILANE GOMES DUARTE

PROF. DR. LEONE FRANCISCO AMORIM CURADO

**Cuiabá, MT
Fevereiro de 2020**

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

**ANÁLISE SAZONAL E INTERANUAL DO BALANÇO DE
ENERGIA NO PANTANAL MATO-GROSSENSE**

LEILANE GOMES DUARTE

*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. LEONE FRANCISCO AMORIM CURADO

**Cuiabá, MT
Fevereiro de 2020.**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

G633a Gomes Duarte, Leilane.
ANÁLISE SAZONAL E INTERANUAL DO BALANÇO DE ENERGIA NO
PANTANAL MATO-GROSSENSE / Leilane Gomes Duarte. -- 2020
52 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Leone Francisco Amorim Curado.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2020.
Inclui bibliografia.

1. Razão de Bowen. 2. Saldo de Radiação. 3. Áreas úmidas. 4. Sazonalidade. I.
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ANÁLISE SAZONAL E INTERANUAL DO BALANÇO DE ENERGIA NO PANTANAL MATO-GROSSENSE

AUTORA: LEILANE GOMES DUARTE

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 19 de fevereiro de 2020, pela comissão julgadora:



Prof. Dr. Leone Francisco Amorim Curado
Orientador
Instituto de Física - UFMT



Prof. Dr. Thiago Rangel Rodrigues
Examinador Interno
Instituto de Física - UFMS



Prof. Dr. Jonathan Willian Zangeski Novais
Examinador Externo
Universidade de Cuiabá – UNIC/Cuiabá

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, especialmente a minha mãe, pelo incentivo em buscar algo melhor. Sou grata às minhas irmãs Gislayne Gomes e Fernanda Duarte.

Ao meu companheiro Anísio, por conceder todo seu amor, apoio e carinho.

AGRADECIMENTOS.

- ❖ Agradeço ao Instituto Nacional de Áreas Úmidas (INAU II) através do Projeto - 3.1.2 – Aspectos Ecofisiológicos na Dinâmica de Trocas Líquidas de CO₂ (NEE), CH₄, Evapotranspiração e de Energia no Pantanal Mato-grossense e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) através dos projetos: CNPq/407998/2016-0 e CNPq/424915/2016-2.
- ❖ Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso.
- ❖ Agradeço ao Professor Doutor Leone Francisco Amorim Curado pela orientação.
- ❖ Agradeço ao Professor Doutor José Nogueira “Paraná”.
- ❖ Agradeço ao meu amigo Marlus Sabino por todo auxílio prestado nessa jornada acadêmica, ao desenvolvimento desse trabalho e por sua amizade.
- ❖ Agradeço ao Lucas Douglas Rothmund por toda ajuda prestada ao desenvolvimento desse trabalho.
- ❖ Agradeço ao meu namorado Anísio por todos os momentos em que estive ao presente ao meu lado demonstrando seu apoio e carinho.
- ❖ Agradeço meus amigos e amigas da graduação: Jonh Billy, Dhimmy, Gustavo Weverton, Rayanna Costa, Kelly Romera e Thais Brunelli.
- ❖ Agradeço a Angélica Yara Siqueira por todos os conselhos, carinhos e paciência.
- ❖ Agradeço ao Professor Doutor Elvis Lira por sua amizade e apoio prestado desde a graduação.

EPÍGRAFE

“O agradecimento é uma obrigação que jamais devemos esquecer”. — Autor desconhecido.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
RESUMO	X
ABSTRACT.....	11
1. INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMÁTICA	12
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.3.1 Objetivo Geral.....	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 ÁREAS INUNDÁVEIS, O BIOMA PANTANAL E A PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO.....	15
2.2 BALANÇO DE RADIAÇÃO E BALANÇO DE ENERGIA.....	20
2.3 MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS	27
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS	27
3.1.1 Medidas das Variáveis Micrometeorológicas.....	29
3.2 ESTIMATIVAS DAS DENSIDADES DE FLUXO DE ENERGIA UTILIZANDO O MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN	29
3.2.1 Critérios Para Aceitação das Estimativas do Método da Razão de Bowen	32
3.3 ANÁLISE DOS DADOS	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 PADRÕES SAZONAIS DAS VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS E DENSIDADES DE FLUXO DE ENERGIA.	35
4.1.1 Padrões Sazonais de Temperatura e Umidade Relativa do Ar.....	35
4.1.2 Padrões Sazonais das Densidades de Fluxos de Energia.....	37
4.2 DINÂMICA HORÁRIA	40
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA.....	42
4.3.1 Temperatura e Umidade Relativa do Ar.....	43
4.3.2 Densidades de Fluxos de Energia.....	44

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. AS DOZES REGIÕES HIDROGRÁFICAS DO BRASIL DEFINIDAS PELA RESOLUÇÃO N. 32, DE 25 DE OUTUBRO DE 2003, DO CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (FONTE: BASES DO PNRH, 2005).....	16
FIGURA 2. SUB-REGIÕES DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO PARAGUAI. (FONTE: MMA, 2006).	16
FIGURA 3. DELIMITAÇÃO DA REGIÃO PANTANEIRA E AS SUAS SUB-REGIÕES COM DESTAQUE NA SUB-REGIÃO DE POCONÉ (FONTE: SANTOS-SILVA ET AL.,2019).	19
FIGURA 4. ÁREA DESMATADA CORRESPONDENTE AOS ANOS DE 2002-2016 PARA OS ESTADOS DE MATO GROSSO E MATO GROSSO DO SUL – 1000(HA). (FONTE: SANTOS, 2018).	20
FIGURA 5. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ESTADO DE MATO GROSSO, DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO BIOMA PANTANAL NO MATO GROSSO E LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO ESTUDO (PAVÃO ET AL.,2019).....	27
FIGURA 6. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DOS FLUXOS DE ENERGIA ENTRE A SUPERFÍCIE E A ATMOSFERA LEVANDO EM CONSIDERAÇÃO DOIS NÍVEIS (Z1, Z2) E REPRESENTANDO A CONVENÇÃO DE SINAIS. FONTE: PEREZ ET AL., 1999.	32
FIGURA 7. VALORES DE TEMPERATURA DO AR (TAR) E UMIDADE RELATIVA DO AR (UR) REFERENTE DOS ANOS DE 2012 E 2013.	35
FIGURA 8. VALORES DO SALDO DE RADIAÇÃO (RN), FLUXO DE CALOR LATENTE (LE), FLUXO DE CALOR SENSÍVEL (H) E FLUXO DE CALOR NO SOLO (G) DOS ANOS DE 2012 E 2013.....	37
FIGURA 9. MÉDIAS HORÁRIAS DE TEMPERATURA DO AR (TAR) E DE UMIDADE RELATIVA DO AR (UR) DURANTE O PERÍODO DE CHEIA, VAZANTE, SECA E ENCHENTE DOS ANOS DE 2012 E DE 2013.	40
FIGURA 10. VALORES HORÁRIOS DE CADA PERÍODO DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR.....	41
FIGURA 11. VALORES DE SALDO DE RADIAÇÃO (RN), FLUXO DE CALOR LATENTE (LE), FLUXO DE CALOR SENSÍVEL (H) E DE FLUXO DE CALOR NO SOLO (G) EM CADA PERÍODO.....	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. VALORES DE MÉDIAS DE TEMPERATURA DO AR E UMIDADE RELATIVA DO AR EM CADA PERÍODO DO ANO DE 2012 COM INTERVALOS DE CONFIANÇA OBTIDOS PELO MÉTODO <i>BOOTSTRAP</i>	43
TABELA 2. VALORES DE MÉDIAS DE TEMPERATURA DO AR E UMIDADE RELATIVA DO AR EM CADA PERÍODO DO ANO DE 2013 COM INTERVALOS DE CONFIANÇA OBTIDOS PELO MÉTODO <i>BOOTSTRAP</i>	43

RESUMO

DUARTE, G.L. Dinâmica dos fluxos de radiação no parque baía das pedras localizado na região do pantanal mato-grossense. 52f. (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2020.

Localizada no Pantanal de Poconé, a região conhecida como Baía das Pedras, apresenta quatro períodos distintos; período de cheia, período de enchente, período de vazante e período de seca, ao longo do ano sofre transformações na cobertura vegetal, na intensidade de radiação recebida e principalmente na quantidade de água presente no meio. Esses acontecimentos tornam essa região importante, para o entendimento das variações sazonais e interanuais dos fluxos de energia em áreas sazonalmente inundáveis, visto que a presença de água no ambiente é um dos principais contribuintes na determinação do particionamento de energia entre a superfície e a atmosfera. Por isso, foi realizado uma análise do saldo de radiação (R_n) e da dinâmica das densidades de fluxos de energia destinadas aos componentes de densidades de fluxos de Calor Latente (LE), densidade de fluxo de Calor Sensível (H) e densidade de fluxo de Calor no Solo (G), por meio do Método do Balanço de Energia e Razão de Bowen (BERB) utilizando dados da torre micrometeorológica durante os anos de 2012 e 2013, e aceitas de acordo com os critérios de Perez et al., 1999. Observou-se que a maior parte da energia disponível é destinada a densidade de fluxo de Calor Latente (LE), principalmente nos períodos de cheia e enchente correspondendo a mais de 60% do (R_n), seguida a densidade de fluxo de calor sensível (H) que apenas apresenta maiores valores no período de seca, e por último para a densidade de fluxo de calor no solo (G). Foi possível identificar, identificar padrões sazonais dos fluxos de energia tomando como base de classificação de período de enchente, cheia, vazante e seca. Após a aplicar o teste de Kruskal-Wallis a componente do saldo de radiação apresentou uma diferença interanual nos períodos de seca com p-valor = 0.35 e no período de enchente com p-valor = 0.49. Já o fluxo de calor latente (LE) apresentou uma diferença interanual nos períodos de vazante com p-valor = 0.15 e o período de enchente com p-valor = 0.44. O fluxo de calor sensível (H) apresentou uma diferença interanual no período de enchente com o p-valor = 0.51 mostrando que existe diferenças estatísticas nos dados analisados em algumas componentes para alguns períodos.

Palavras-chave: Razão de Bowen, Saldo de Radiação, Áreas úmidas, Sazonalidade.

ABSTRACT

DUARTE, G.L. Dinâmica dos fluxos de radiação no parque baía das pedras localizado na região do pantanal mato-grossense. 52f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2020.

Located in the Pantanal of Poconé, the region known as Baía das Pedras, has four distinct periods; period of flood, period of flood, period of ebb and period of drought, throughout the year undergoes transformations in the vegetation cover, in the intensity of radiation received and mainly in the amount of water present in the environment. These events make this region important for the understanding of seasonal and interannual variations in energy flows in seasonally flooded areas, since the presence of water in the environment is a major contributor in determining the partitioning of energy between the surface and the atmosphere. For this reason, an analysis of the radiation balance (R_n) and the dynamics of energy flow densities for the components of latent heat flux densities (LE), sensitive heat flux density (H) and flux density in Soil Heat (G), using the Energy Balance and Bowen Ratio Method (BERB) using data from the micrometeorological tower during the years 2012 and 2013, and accepted according to the criteria of Perez et al., 1999 It was observed that most of the available energy is destined to the density of flux of Latent Heat (LE), mainly in periods of flood and flood corresponding to more than 60% of (R_n), followed by the density of sensitive heat flow (H) which only presents higher values in the dry season, and lastly for the density of heat flow in the soil (G). It was possible to identify and identify seasonal patterns of energy flows based on the classification of the period of flood, flood, ebb and flow. After applying the Kruskal-Wallis test, the radiation balance component showed an interannual difference in periods of drought with p-value = 0.35 and in the flood period with p-value = 0.49. The latent heat flow (LE) presented an interannual difference in ebb periods with p-value = 0.15 and the flood period with p-value = 0.44. The flow of sensitive heat (H) showed an interannual difference in the flood period with the p-value = 0.51 showing that there are statistical differences in the data analyzed in some components for some periods.

Keywords: Bowen's Ratio, Radiation Balance, Wetlands, Seasonality.

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMÁTICA

O estudo do saldo de radiação possui implicações diretas na meteorologia, em especial na variabilidade climática. Os fenômenos naturais como o processo de evapotranspiração, assimilação de carbono, fotossíntese e a produtividade dos ecossistemas estão diretamente relacionados ao balanço energético da Terra, que é influenciado por alterações climáticas naturais ou antropológicas, como incêndios e desmatamentos e mudanças na cobertura do solo.

De maneira geral a energia disponível ao meio, proveniente do saldo de radiação, é convertida em calor latente (LE), que inclui o processo de evapotranspiração; calor sensível (H) usado no aquecimento do ar; aquecimento do solo (G). Quando ocorre uma alteração nas partições dos fluxos de LE e H, as características do microclima são afetadas, assim, conhecer o balanço de radiação é de extrema importância.

A Região Hidrográfica do Paraguai é considerada a maior extensão de áreas úmidas inundadas por água doce do planeta. Em sua totalidade, abrange áreas significativas de três países: Brasil, Bolívia e Paraguai. Em território nacional ocupa 362.259 km² dos quais 135.000 km² constituem a planície úmida (*wetland*), que é o Pantanal, situado entre os Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Uma característica particular da região pantaneira é a variação sazonal do nível de água na superfície do solo classificando o Pantanal em área temporariamente inundada.

Localizada no Pantanal de Poconé, a região conhecida como Baía das Pedras, apresenta quatro períodos distintos; período de cheia, período de enchente, período de vazante e período de seca, ao longo do ano sofre mudanças na cobertura vegetal, na intensidade de radiação recebida e principalmente na disponibilidade hídrica no meio. Esses eventos tornam essa região importante, para o entendimento das variações sazonais e interanuais dos fluxos de energia em áreas sazonalmente alagadas, visto que a presença de água no ambiente é um dos principais contribuintes na determinação do particionamento de energia entre a superfície e a atmosfera.

1.2 JUSTIFICATIVA

Estudos mostram que diferentes biomas sofrerão alterações climáticas, devido as ações antrópicas, o uso do solo provoca alterações na cobertura do solo, e conseqüentemente, o aumento da temperatura local que pode influenciar o ciclo hidrológico e a distribuição de chuvas, poderá transformar regiões tropicais em áreas de savanas, e incidir em um processo de desertificação.

A Amazônia sofrerá com períodos mais longos de seca, enquanto o Cerrado brasileiro que já possui um período considerável de estiagem, sofrerá um alongamento nesse período de seca, já as regiões inundáveis, que dependem diretamente do ciclo hidrológico da região, sofrerão uma alteração drástica nos períodos e nas intensidades das inundações. Em especial, o Pantanal, que em cenários de clima mais seco pode ser modificado sofrendo alterações da flora e da fauna local, e por fim, até mesmo o processo de “savanização”, que modificará profundamente as trocas e o particionamento de energia entre os ecossistemas e a atmosfera.

Mudanças climáticas extremas, podem afetar todo o ecossistema, alterando espécies da flora e fauna local levando a descaracterização e extinção do ecossistema original. E conseqüentemente, causar alteração no particionamento e comportamento das densidades dos fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e o fluxo de calor no solo (G) que variam devido às interações com a superfície, ciclagem bioquímica das plantas e disponibilidade de água presente no meio.

Compreender as variações espaciais e temporais das densidades de fluxos de energia e o particionamento das densidades de fluxos em áreas sazonalmente inundadas em cada período é de extrema importância para avaliar os ciclos hidrológicos, entender interações entre solo-planta-atmosfera, ajudam a detectar prováveis mudanças climáticas e alterações nos regimes de evapotranspiração dos ecossistemas. Além disso, a variabilidade espacial e temporal do saldo de radiação também é útil para previsão de tempo, modelagem hidrológica e a agrometeorologia.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi apresentar uma análise da dinâmica das densidades de fluxos de energia destinadas aos componentes de fluxos de calor latente, fluxo de calor sensível e fluxo de calor no solo em área do Pantanal Mato-Grossense por meio do Método do Balanço de Energia e Razão de Bowen (BERB).

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estimar por meio do Método da Razão de Bowen as densidades de fluxos de calor latente, calor sensível e de fluxo de calor no solo no Parque Baía das Pedras, localizado no Pantanal Mato-Grossense, por um período de dois anos;
- Identificar padrões sazonais dos fluxos de energia tomando como base de classificação de período de enchente, cheia, vazante e seca;
- Identificar a variabilidade interanual das densidades de fluxos de energia.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo dessa seção é de realizar uma pequena descrição de áreas inundáveis, especialmente, sobre a Região da Bacia Hidrográfica do Paraguai que contém uma grande parte do Bioma Pantanal e a planície úmida (*wetland*), conhecida como Pantanal. Além disso, foram introduzidos os seguintes conceitos: Balanço de Radiação, Balanço de Energia e do Método da Razão de Bowen.

2.1 ÁREAS INUNDÁVEIS, O BIOMA PANTANAL E A PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO.

As planícies inundáveis são áreas que oscilam entre fase terrestre e aquáticas (inundadas) (JUNK,1997). A inundação está relacionada ao regime hidrológico, que apresenta um padrão sazonal de precipitação e uma alta taxa pluviométrica, existente no local e associadas as características topográficas e a baixa drenagem do solo (JUNK,1997; NUNES DA CUNHA e JUNK, 2001).

O pulso de inundação é considerado a força motriz da região e as intensificações de períodos de seca e de inundações são decorrentes das flutuações plurianuais do nível de água, que acabam por influenciar sazonalmente as características ecológicas, biológicas, podendo até mesmo, acarretar estresse hídrico na vegetação local em ambos períodos (JUNK et al., 2006; CURADO et al., 2011; MACHADO et al., 2016; SCHULZ et al.,2019; NUNES DA CUNHA et al., 2014).

No Brasil existem doze Regiões Hidrográficas definidas pela Resolução n. °32, de 25 de outubro de 2003, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (Fonte: Bases do PNRH, 2005). A bacia hidrográfica do alto rio Paraguai ocupa área de aproximadamente 362.259 km² em território brasileiro, na região Centro-Oeste, dos quais 188.374 km² ocupam o Estado de Mato Grosso e 173.874 km² ocupam o Estado de Mato Grosso do Sul (MMA,2006).

A Sub-região Paraguai 03 é a que possui a maior área da Região Hidrográfica (52,24%), é interessante notar que sub-região Paraguai 03 está totalmente localizada no Estado de Mato Grosso, seguido da sub-região 02 (24,55%) e, por fim, Paraguai 01 (23,21%) (MMA,2006).

Na Região Hidrográfica da Paraguai observa-se a presença dos Biomas Cerrado e Pantanal, além de zonas de transições. Do ponto de vista fitogeográfico, a região compreende um mosaico integrado de paisagens com influência predominante de Cerrado e de Mata Atlântica da região leste, Amazônia ao norte e do Chaco (nome dado ao Pantanal localizado no norte do Paraguai e leste da Bolívia). Em regiões mais elevadas predomina o cerrado com vegetação Savana Arborizada (Cerrado) e Savana Florestada (Cerradão), e até mesmo, ocorrência de fragmentos de Caatinga. (IBGE, 2004; ABDON et al., 2007).

A Região Hidrográfica do Paraguai apresenta três regiões fisiográficas: planaltos com altitudes entre 700 e 900 metros, planaltos sedimentares com altitudes entre 900 até 1200 metros em relevos cristalinos, a depressão do Alto Paraguai-Guaporé entre 80 e 150 metros e a planície (Pantanal) com altitude variando entre 80 e 190 metros acima do nível do mar, caracterizando a planície como uma região deprimida cercada por planaltos (ASSINE, 2003; MMA, 2006).

A planície de inundação (Pantanal), localizada na região de deprimida, é preenchida por um alo trato deposicional denominado sedimentação aluvial, incluindo leques aluviais, planícies fluviais, lagos, linhas de drenagens estacionais (corixos ou coxirões), linhas de drenagem com moderada declividade e ausência de um canal bem desenvolvido (vazantes) e lagoas (baías). (BRASIL, 2003; LEANDRO, G. R. S & SOUZA, C. A, 2012).

O Bioma Pantanal abrange áreas além da planície de inundação, localizada em áreas depressões da Região Hidrográfica do Paraguai. Em território brasileiro, cobre uma área de aproximadamente 150.355 km² que é equivalente a 1,7% do território nacional, localizado entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso Sul.

Na região do Planalto as médias das precipitações durante o período de chuva são maiores do que na região da planície, e as que ocorrem especialmente nos afluentes do rio Paraguai na região do planalto, é em parte, responsável pela inundação da planície pantaneira, o represamento ocorre devido a uma declividade (desnível) de 3-5cm/km na direção Leste-Oeste e 1,5-3cm/km na direção Norte-Sul (LEANDRO & SOUZA,2002; GALDINO, 2006).

As inundações são decorrentes, na maioria das vezes, da precipitação (marcada pela sazonalidade), que se torna responsável pelo transbordamento dos rios que compõe a cabeceira da Região Hidrográfica do Paraguai (ALVES, 2015). O intenso fluxo de água, associado ao baixo escoamento das águas devido os rios serem estreitos, causam os transbordamentos dos rios, e conseqüentemente, as inundações da planície formando as baías e lagoas ao preencher as depressões (ALHO, 2003; MMA, 2011).

A região Norte do Pantanal apresenta índice anuais de precipitação que variam entre 1000 mm e 1700 mm e apresenta maior variabilidade na distribuição de chuvas, enquanto a região Sul apresenta menores índices de precipitação que variam entre 1000 mm e 1100 mm, a variabilidade na distribuição da chuva é menor (SCHULZ et al.,2019).

Existe diferença entre os períodos de alagamento na parte Norte e Sul do Pantanal: no Norte, as cheias ocorrem entre os meses de janeiro a março, com inundação máxima no início de fevereiro, enquanto no Sul, de abril a junho, atingindo seu pico em junho, dificultando o escoamento (GALDINO, 2006).

É importante ressaltar, que apenas, cerca de 135.183 km² constituem a planície úmida (*wetland*) denominada Pantanal, que corresponde a uma área de 48.865 km² distribuídos em sete municípios no Estado de Mato Grosso e 89.318 km² distribuídos em nove municípios no Estado de Mato Grosso do Sul (SILVA & ABDON,1998; ASSINE, 2003; JUNK et al., 2018).

Devido à variedade de relevos e biomas presentes na planície existem vários tipos de pantanais, subdivididos em onze tipos: Pantanal de Cáceres, Pantanal de Poconé, Pantanal de Barão do Melgaço, Pantanal do Paraguai, Pantanal de Paiaguás, Pantanal de Nhecolândia, Pantanal de Abrobal, Pantanal de Aquidauana, Pantanal de Miranda,

Pantanal de Nabileque e Pantanal de Porto Murtinho (MMA, 2006; SILVA; ABDON, 1998).

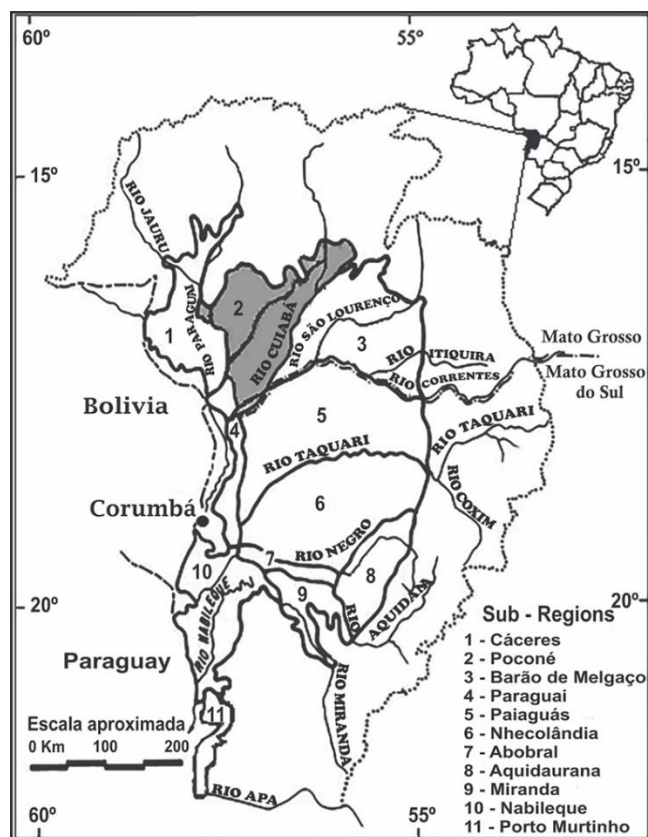


Figura 3. Delimitação da Região Pantaneira e as suas Sub-regiões com destaque na Sub-região de Poconé (Fonte: SANTOS-SILVA et al.,2019).

Diferentemente de outros biomas, o bioma Pantanal, em sua maior parte não possui grandes áreas ocupadas por florestas tornando difícil a identificação de ações antrópicas. De acordo com o programa de Monitoramento por satélite o bioma Pantanal ainda mantém aproximadamente 83% de sua cobertura vegetal nativa (BRASIL, 2011c).

O Estado de Mato Grosso se destaca no cenário nacional por desenvolver atividades pecuárias, na região pantaneira também ocorre a pecuária extensiva sobre a área nativa. Infelizmente, o Pantanal ainda carece de programas que ajude a desenvolver o potencial produtivo local, reduzindo as áreas de desmatamento e respeitando o meio ambiente (SANTOS, 2018).

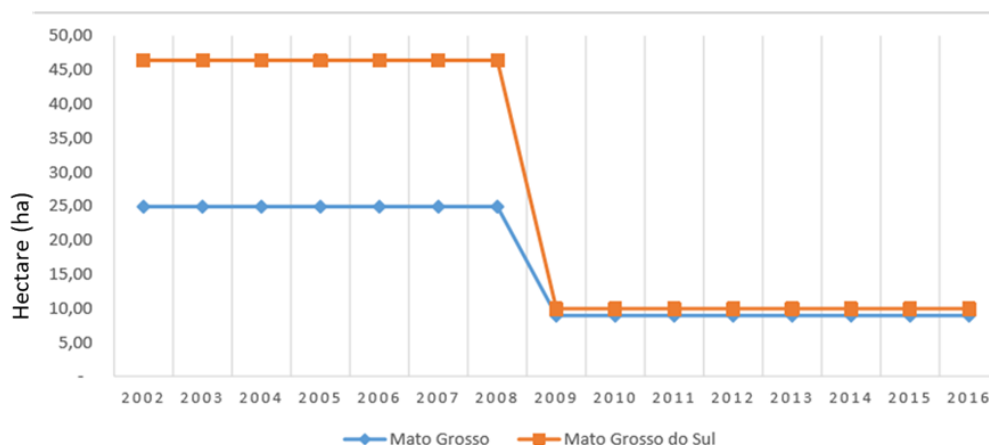


Figura 4. Área desmatada correspondente aos anos de 2002-2016 para os Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul – 1000(ha). (Fonte: Santos, 2018).

Contudo, em março de 2018 durante o 8º Fórum Mundial da Água, em que representantes do Brasil, Bolívia e Paraguai assinaram uma declaração trinacional de referência através da qual os três países se comprometem a desenvolver planos e estratégias coordenados para alcançar um desenvolvimento sustentável no Pantanal (WWF, 2018; GUEDES, 2019).

Estudos mostram as ações antrópicas causam alterações climáticas locais, as alterações na cobertura do solo devido a agricultura e a pecuária causam aumento da temperatura região, que influenciam diretamente o ciclo hidrológico e a distribuição de chuvas que é de extrema importância em áreas úmidas, e como consequência, alteraram o balanço de radiação e o balanço de energia local (BLANK, 2015; TOZATO et al., 2013, BIUDES et al., 2009).

2.2 BALANÇO DE RADIAÇÃO E BALANÇO DE ENERGIA

O Sol é a estrela mais próxima da Terra, a distância Terra-Sol é de aproximadamente de $1,497 \times 10^{11} \text{m}$ o que corresponde a uma UA (Unidade Astronômica). Devido a essa proximidade, o Sol assume um papel de extrema importância para a existência e manutenção de vida na Terra, a sua contribuição diária de energia se tornam responsáveis pelas as alterações geomagnéticas e climáticas sentidas na superfície terrestre (COUTO RODRIGUES, 2000).

O Sol é composto diversos elementos químicos em quantidades diferentes. Ele é composto principalmente por 90% de Hidrogênio (H), aproximadamente 10% de Hélio (He), além de uma quantidade mínima de elementos pesados em termos de massa atômica, como o oxigênio (O), Carbono (C), Nitrogênio (N), Ferro (Fe), entre outros elementos (LIOU, 1980).

A sua estrutura física é dividida em camadas em camadas a partir de seu interior chamadas de Núcleo que se caracteriza por concentrar a maior parte de massa solar e por ser o local onde ocorrem as reações termonucleares; seguido pela Zona de Radiação; Zona de Convecção destaca-se por transportar a energia produzida no núcleo para a superfície solar; Fotosfera é a região visível e de onde vem a maior parte da energia radiante que chega a Terra; Cromosfera é a camada avermelhada de espessura estimada entre 6000 a 15000km e Coroa a camada mais externa do Sol, tem uma espessura dependente do nível de atividade solar (VIANELO & ALVES, 2000; SOTIROVSKI, 1988).

O Sol possui uma temperatura de aproximadamente de 5770K e a energia que o Sol produz é emitida continuamente em forma de radiação eletromagnética. O espectro eletromagnético possui várias frequências (ν) em Hertz (Hz) e comprimentos de onda (λ) em metros (m) que formam uma constante ao serem multiplicados que possui o valor de $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$. Tal constante é a velocidade da radiação emitida pelo sol (Luz), ela gasta 8min e 20 segundos-luz para percorrer a distância Sol-Terra. (SAKURAI, 1984, NUSSENZVEIG, 2015).

De acordo com a Equação 1, a Lei de Stefann-Boltzman diz que qualquer corpo que possui temperatura acima de zero absoluto emite radiação eletromagnética proporcional a quarta potência de sua temperatura absoluta (NUSSENZVEIG, 2015).

$$E = \epsilon \sigma T^4 \quad \text{Equação 1}$$

O espectro solar pode ser dividido em três regiões principais: ultravioleta com comprimentos de onda de 0,3 a 0,4 μm ; a radiação visível de 0,4 (luz azul) a 0,7 μm (luz vermelha); e o infravermelho 0,7 até 3 μm (MONTEITH, 1973).

De acordo com a Lei de Wien (Equação 2) a máxima emitância espectral de um corpo é proporcional a sua temperatura absoluta.

$$T \cdot \lambda_{m\acute{a}x} = C \quad \text{Equação 2}$$

O Sol tem pico de emissão em torno de $0,5\mu\text{m}$, esse comprimento de onda está dentro da região denominada visível que se inicia no violeta até o vermelho ($0,39$ até $0,77 \mu\text{m}$) que é assim definido por ser a faixa que olhos humanos são sensíveis e capazes de identificar as cores (NUSSENZVEIG, 2015)

Essa energia percorre o espaço e atinge o topo da atmosfera terrestre com uma densidade de fluxo de aproximadamente 1400 Wm^{-2} , esse valor é conhecido como constante solar (J_0). Ao atravessar a atmosfera terrestre a radiação sofre processos de absorção, difusão e reflexão. Quando a radiação sofre processos de difusão e reflexão ela é conhecida como radiação difusa (R_c) e quando a radiação passa sem sofrer interação recebe o nome de radiação direta (R_d). (VAREJÃO-SILVA, 2006)

A radiação solar (ondas curtas) ao interagir com solo e a atmosfera faz com que esses se aqueçam, de acordo com a Lei de Stefan-Boltzman, faz com que o solo passe a emitir radiação na faixa do infravermelho com comprimentos de ondas acima de 4000 nm (ondas longas) (GOMES, 2009; VAREJÃO-SILVA, 2006).

Por meio de equipamentos como o saldo radiômetro que realiza o somatório dos balanços de ondas Curtas (BOC) e Longas (BOL) é possível encontrar os valores do Saldo de Radiação (R_n) de acordo com a Equação 3: (PEREIRA et al., 2006; SEIXAS et al., 2016)

$$R_n = BOL - BOC \quad \text{Equação 3}$$

O saldo de radiação (R_n) é uma variável essencial para a modelagem de processos naturais como a estimativa do balanço de energia e o processo de evapotranspiração, descrito fisicamente, como a diferença entre a quantidade de radiação que entrou no sistema (ondas curtas) e quantidade que saiu do sistema (ondas longas) representando a energia que ficou disponível ao sistema para que possa realizar os processos biofísicos do sistema. (PEREIRA, 2013; ROTHMUND, 2017; CURADO et al., 2014).

O balanço de energia representa o destino dado a essa energia presente no sistema, sendo utilizada no processo de evapotranspiração na forma de calor latente (LE), no aquecimento do ar em forma de calor sensível (H), no aquecimento do solo (G), uma pequena parte para a realização de fotossíntese (F) e considera-se aquela que fica armazenada no sistema (troncos, dossel e lâmina de água) (S) (Equação 4). (CURADO et al., 2014; BIUDES et al., 2009; PEREIRA, 2013).

$$R_n = H + LE + G + P + S \quad \text{Equação 4}$$

Em que R_n (Wm^{-2}) é o saldo de radiação, H (Wm^{-2}) é a densidade de fluxo de calor sensível, LE (Wm^{-2}) é a densidade de fluxo de calor latente, G (Wm^{-2}) é a densidade de fluxo calor no solo, P (Wm^{-2}) é a energia responsável pela realização da fotossíntese e S (Wm^{-2}) a energia acumulada no sistema.

Devido à falta de dados referentes aos componentes P e S no período em analisado, essas densidades de fluxos não serão consideradas no presente trabalho. Os valores destinados a essas parcelas podem ser desconsideradas, uma vez que termos que se acumulam durante o período diurno são balanceados, pois sofrem perdas no período noturno (ANDRADE et al., 2009), assim podemos considerar que o balanço de energia é a soma desses três processos de acordo com a Equação 5:

$$R_n = H + LE + G \quad \text{Equação 5}$$

O balanço de energia é fundamental para os processos de ordem físicos, químicos e biológicos na interface biosfera-atmosfera que ocorrem na superfície responsáveis pela manutenção da vida como: o aquecimento do solo, evapotranspiração (evaporação da água e transpiração das plantas), aquecimento do solo e do ar e a fotossíntese (QUERINO et al., 2015; GUSMÃO et al., 2012).

Qualquer alteração que ocorre no fluxo radiativo entre o sistema superfície-atmosfera pode modificar as condições térmicas, e conseqüentemente as circulações atmosféricas (CUI et al., 2012). A quantificação das parcelas do Saldo de Radiação (R_n) é crucial na determinação de ciclos hidrológicos, no desenvolvimento da camada limite, no tempo e no clima (WILSON et al., 2000).

As componentes do balanço de energia apresentam comportamento diferente para cada ecossistema, devido as condições de relevo, solo, fenologia das plantas e meteorológicas ao longo da superfície da Terra (PEREIRA et al.,2013; BORMA et al., 2009). Em superfícies com maior quantidade de vegetação (floresta Amazônica) e maior disponibilidade hídrica (Pantanal) grande parte do balanço de energia é destinado para a densidade de fluxo de calor latente até mesmo durante os períodos seca (LE) , já em regiões com restrições hídricas a maior parte do balanço é destinado para a densidade de fluxo de calor sensível(H) (PEREZ et al., 2009; DE ARAÚJO et al., 2019; MACHADO et al.,2016, RODRIGUES et al., 2011; DUARTE et al., 2019).

Além disso, a quantificação das densidades de fluxos, podem contribuir para a construção de modelos que utilizam como parâmetros as componentes do balanço para identificar possíveis mudanças climáticas e visualizar futuros cenários em escalas regionais e global, e por fim auxiliar no desenvolvimento de políticas ambientais e climáticas (ANDRADE et al.2009, DE ARAÚJO et al., 2019;).

Alterações na partição de energia entre densidades de fluxos calor latente e calor sensível podem afetar os fluxos da superfície, e como resultado podem modificar o microclima de uma região vegetada em relação ao seu desenvolvimento e das condições do solo influenciando em processos biofísicos, físicos e físico-químicos, umidade em áreas adjacentes, processos convectivos e transporte de energia em forma de calor (FOLEY et al., 2003; LEITÃO et al., 2000).

2.3 MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN

Diversos métodos são utilizados para estimar as componentes do balanço de energia, atualmente o mais utilizado é o método de covariância de vórtices de turbulentos (*Eddy Covariance*) que é considerado uma ferramenta confiável no estudo de trocas de energia e matéria entre a biosfera e atmosfera (ESCALANTE-RAMIREZ, 2012).

O método fornece medidas diretas e independentes de velocidade de fricção e concentração de CO₂ do ar, velocidade do vento nas componentes horizontal e vertical, densidade de fluxo de calor latente (LE) medindo a covariância entre as variações na velocidade do vento vertical e a concentração de CO₂ ou vapor de H₂O do ar, e

medidas de densidades de fluxo de calor sensível (H) medindo a covariância entre as variações na velocidade do vento vertical e a temperatura do ar (BALDOCCHI, 2003, RODRIGUES, 2013; PEREIRA et al., 2012).

Apesar da alta precisão do método de covariância de vórtices turbulentos (*Eddy Covariance*), infelizmente, o equipamento ainda possui um valor elevado. Por esse motivo, o Método da Razão de Bowen é vastamente utilizado quando se há a necessidade de reduzir custos, e até mesmo por utilizar dados considerados simples de serem coletados apresentando um melhor custo benefício (CURADO et al., 2014; TEIXEIRA e BASTIAANSEN, 2012).

O Método da Razão de Bowen consegue realizar estimativas, por meio de medidas indiretas, a partir de variáveis que são facilmente medidas como o gradiente e fluxos de variáveis medidas, como temperatura e pressão de vapor do ar para a estimar os valores das densidades de fluxos de calor latente (LE) e sensível (H). (ROTHMUND, 2017; CURADO et al., 2011).

A Razão de Bowen β é calculada como a razão entre a densidade de fluxo de calor sensível (H) pela densidade de fluxo de calor latente (LE). O método é baseado no princípio de conservação de energia, utilizando o Saldo de Radiação (Rn) medido por um saldo radiômetro, e o fluxo de Calor no Solo (G) obtido facilmente através de um fluxímetro, para a estimativa das densidades de fluxos de calor Sensível (H) e latente (LE) (BOWEN, 1926; KARAM e PEREIRA FILHO, 2006).

Com relação aos resultados da razão de Bowen (β), o método é adequado quando as densidades de fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE) possuem o mesmo sinal. A razão de Bowen (β) assume valores negativos quando os valores de umidade e temperatura da superfície são maiores que o do ar ou quando a superfície possui valores de umidade e temperatura são menores que do ar (KARAM e PEREIRA FILHO, 2006; CURADO, 2011;)

Quando o solo possui valores elevados de umidade β tende a assumir valores próximos de zero, o que indica que a maior parte da energia está sendo utilizada à mudança de estado físico da água em forma de fluxo de calor latente (LE), dessa forma quanto mais próximos de um maior será o valor da parcela do balanço de energia

destinada ao aquecimento do ar em forma de fluxo de calor sensível (H) (PEREIRA et al., 2012; BETTS et al. 2007; TANG et al., 2014)

De acordo com Perez et al. (1999), para evitar incoerências físicas que podem ocorrer nas estimativas realizadas pela Razão de Bowen, é necessário utilizar uma série de critérios para selecionar dados apropriados que devem ser utilizados para a determinação correta das densidades de fluxos estimadas através do Método da Razão de Bowen para as densidades de fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE), estes critérios serão descritos na metodologia. (PEREIRA, 2013; CURADO, 2011; ROTHMUND, 2017).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

O estudo foi realizado no Centro Avançado de Pesquisas da Universidade Federal de Mato Grosso, localizado no Parque Baía das Pedras da Estância Ecológica SESC-Pantanal, localizada na região do Pantanal Norte (16°29' S e 56°25' O) na cidade de Poconé, aproximadamente a 160 km de Cuiabá, MT (FIGURA 5).

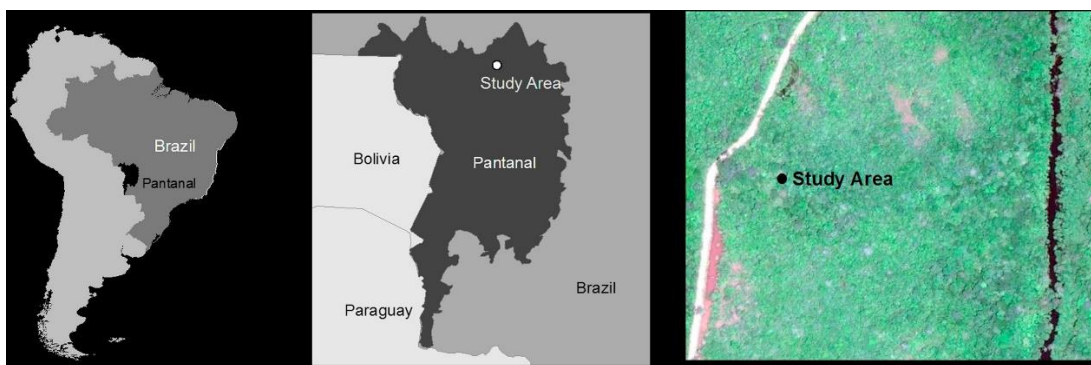


Figura 5. Localização geográfica do estado de Mato Grosso, distribuição espacial do bioma Pantanal no Mato Grosso e localização geográfica do estudo (PAVÃO et al., 2019).

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é Aw, apresentando valores de temperaturas e umidade relativa do ar elevados no período de chuva (verão), com médias acima de 29°C e 85%, respectivamente, e valores de temperaturas e umidade relativa do ar menores no período de estiagem (inverno), podendo alcançar médias baixas de 10°C e 60% (ALVARES, et al., 2014, SCHWERDTFEGER et al., 2014).

A região apresenta precipitação média anual entre 1000-1600 mm, com estiagem entre os meses de maio a outubro, e temperatura média anual de 26,1 °C, sendo a região considerada uma das áreas mais quentes da América do Sul (DE MUSIS et al., 1997; ARIEIRA et al., 2011, ALVES et al., 2015).

O Pantanal de Poconé, juntamente com Pantanal de Cáceres e Barão de Melgaço pertencem a região norte do pantanal, esta região apresenta uma variedade de formações vegetais, desde campos limpos a florestas alagadas (landizal), cerradão, densas savanas e pontos dominantes de *Vochysia divergens* Pohl (Cambarazal) (SANTOS-SILVA et al., 2019).

Na área de estudo, onde a torre micrometeorológica está instalada, a vegetação predominante é conhecida como Pombeiral que é uma vegetação tipicamente pantaneira, apresenta pequenos estandes de Pombeiro (*Combretum lanceolatum Pohl*), Algodão do Pantanal (CORINGA et al., 2012, NASSARDEN, 2015). Os solos são de origem sedimentar, com dominância de solos hidromórficos argiloso, a topografia é plana e ocorrem inundações sazonais em períodos de chuva (MACHADO et al., 2015, FANTIN-CRUZ et al., 2010).

O Parque Baía das Pedras da Estância Ecológica está localizado em uma região da planície de inundação, com a superfície oscilando entre fase terrestre e aquáticas (inundadas) (JUNK, 1997). A inundação é sazonal, e está relacionada ao regime hidrológico, que apresenta um padrão de sazonalidade da precipitação com alta taxa pluviométrica no período de chuva existente no local, associados as características topográficas e a baixa drenagem do solo (JUNK, 1997; NUNES DA CUNHA e JUNK, 2001).

Neste trabalho os períodos de sazonalidade das inundações foram classificados em período de enchente (outubro, novembro e dezembro), período de cheia (janeiro, fevereiro e março), período de vazante (abril, maio e junho) e período de seca (julho, agosto e setembro), conforme proposto por Silva, 2013 e Novais et al., 2015. Em estudos anteriores realizados na mesma região do Pantanal Mato-Grossense, contudo, comumente a sazonalidade é separada em período chuvoso (outubro até março) e período de seca (abril até setembro) (CURADO 2011, MACHADO et al., 2015 e ROTHMUND, 2017). Entretanto é importante notar que os períodos de enchente e cheia coincidem com o período de chuvoso e os períodos de vazante e seca coincidem com o período de seca das duas classificações.

Durante o período de enchente inicia-se as chuvas na região, ocorrendo inundações temporárias e o aumento gradativo do nível dos rios. No período de cheia os rios e lagos estão com nível de água acima e transbordam, inundando grande parte da região, o acúmulo de água caracteriza a fase aquática da planície de inundação. Já no período de vazante, corresponde ao período de redução da frequência e volume das chuvas, de maneira que o nível d'água acima da superfície começa a baixar. Por fim,

no período de seca a região devido a não ocorrência de precipitações a superfície do solo torna-se seca (SILVA, 2013, BATTIROLA et. al, 2010).

3.1.1 Medidas das Variáveis Micrometeorológicas

Para o desenvolvimento desse estudo foram utilizados dados do saldo de radiação, fluxo de calor no solo, temperatura e umidade relativa do ar, coletados entre de janeiro de 2012 até dezembro de 2013 de uma torre micrometeorológica instalada no local de estudo. O dossel vegetativo próximo a torre possui, aproximadamente uma altura de 4 metros, a vegetação possui árvores espaçadas e existe uma cobertura de vegetação raseira durante o período de seca (NASSARDEN, 2015; ROTHMUND, 2017).

Os dados de saldo de radiação foram medido por meio de um saldo radiômetro (NRLITE, Kipp & Zonen, Delft, Netherlands), os de fluxos de calor de calor no solo foram obtidos por meio de fluxímetros de calor no solo instalados a 1cm de profundidade, e os gradientes de temperaturas e umidades relativas do ar foram adquiridos por termo higrômetros (modelo HMP45C, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland) instalados a 21,40 e 30 m.

Os dados medidos pelos equipamentos foram processados e armazenados em um sistema de aquisição de dados a cada quinze minutos modelo CR1000 (Campbell Scientific, Inc.) acoplado a um Multiplexador. A partir das medidas do fluxo de calor no solo, da temperatura, da umidade e do saldo de radiação foram determinadas as partições de calor latente e calor sensível por meio do cálculo da razão de Bowen (Bowen, 1926).

3.2 ESTIMATIVAS DAS DENSIDADES DE FLUXO DE ENERGIA UTILIZANDO O MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN

O Método da Razão de Bowen realiza estimativas dos fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE). É fundamentado pelo princípio da conservação de energia, considerando a soma das interações dos diversos tipos de energia com a superfície. As estimativas levam em consideração variáveis que são facilmente medidas, como os gradientes de temperatura e pressão de vapor do ar, e os fluxos de variáveis medidas,

como o saldo de radiação R_n e a densidade de fluxo de calor no solo, para a estimativa dos valores das densidades de fluxo de calor latente (LE) e sensível (H) (BOWEN, 1926).

Na estimativa dos fluxos, de forma simplificada, o saldo de radiação R_n pode ser considerado a soma das densidades de fluxo de calor latente (LE), de calor sensível (H) e de calor no solo (G) Equação 6:

$$R_n = G + H + LE \quad \text{Equação 6}$$

O R_n é o saldo de radiação medido pelo saldo radiômetro (Wm^{-2}); G é o valor da densidade de fluxo de calor no solo que é medido pelo fluxímetro (Wm^{-2}); H é o a densidade de fluxo de calor sensível (Wm^{-2}) e LE é a densidade de fluxo de calor latente (Wm^{-2}) que serão estimados.

A partir da Equação 6, o Método da Razão de Bowen é utilizado para estimar as componentes LE e H do balanço de radiação, visto que, a Razão de Bowen (β) é a razão entre as densidades de fluxos de calor sensível (H) e de calor latente (LE) conforme a Equação 7:

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad \text{Equação 7}$$

Considerando um tempo médio (t) entre 20-60 min, pode-se considerar a ocorrência de relações empíricas entre fluxos de energia e gradientes verticais de temperatura e pressão de vapor no ar, conforme as Equações 8 e 9:

$$H = -\rho K_s C_p \frac{\Delta t}{\Delta z} \quad \text{Equação 8}$$

$$LE = -\rho K_w \frac{c_p \Delta e}{\gamma \Delta z} \quad \text{Equação 9}$$

Em que: C_p é o valor do calor específico do ar à pressão constante ($1010 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$); ρ é a pressão atmosférica local (kPa); γ é a constante psicométrica ($\text{kPa }^\circ\text{C}^{-1}$); Δz é a diferença de altura no perfil atmosférico em que estão instalados os equipamentos de temperatura e/ou pressão (m); ΔT é a diferença de temperatura entre dois níveis de altura ($^\circ\text{C}$); Δe é a diferença de pressão de vapor atmosférico entre dois níveis de altura

(kPa); K_s é o coeficiente de difusividade do calor sensível e K_w é o coeficiente do calor latente que são os coeficientes de difusividade turbulenta (m^2s^{-1}).

De acordo com Verma et al. (1978) os coeficientes de difusividade turbulenta K_s e K_w se igualam, então, aplicando-se as equações 8 e 9 na Equação 6, a razão de Bowen pode ser obtida conforme a Equação 11:

$$\beta = \frac{-\rho K_s c_p \frac{\Delta T}{\Delta z}}{-\rho K_w \frac{c_p \Delta e}{\gamma \Delta z}} \quad \text{Equação 10}$$

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad \text{Equação 11}$$

O valor da Razão de Bowen (β) é adimensional, e depende essencialmente das condições hídricas da superfície evaporante.

O valor da constante psicométrica (γ) é dado pela relação entre o calor específico do ar (C_p), da pressão atmosférica (p) e do calor latente de vaporização (L) ($kJ\ kg^{-1}$) Equação 12:

$$\gamma = \frac{c_p p}{0.622 L} \quad \text{Equação 12}$$

Com base na equação de Glanz & Orlob (1973), foi aprimorada por Henderson-Sellers (1984), em uma equação para o calor latente de vaporização (L) em função da temperatura, dada pela Equação 13:

$$L = 1,91846 * \left(\frac{T+273}{(t+273)-33,91} \right)^2 \quad \text{Equação 13}$$

A pressão de vapor atmosférico é obtida por meio das medidas de umidade relativa do ar UR (%) e por meio da pressão de saturação do vapor de água em função da temperatura utilizada Glanz & Orlob (1973) de acordo com a Equação 14

$$UR = \frac{e}{e_s} * 100 \quad \text{Equação 14}$$

Devido a relação entre a pressão atual de vapor de água (e) e a pressão de saturação de vapor de água (e_s) dada em função da temperatura (T) Equação 15:

$$e_s = 2,1718 * 10^7 \left(-\frac{4157}{(T+273)-33,91} \right) \quad \text{Equação 15}$$

Após obtenção da Razão de Bowen (β) (Equação 10), aplicando-se nas Equações 5 e 6, são adquiridos os fluxos de calor sensível (Equação 13) e calor latente (Equação 14).

$$H = -(R_n - G) \frac{\beta}{\beta+1} \quad \text{Equação 16}$$

$$LE = \frac{(R_n - G)}{(\beta+1)} \quad \text{Equação 17}$$

3.2.1 Critérios Para Aceitação das Estimativas do Método da Razão de Bowen

De acordo com Perez et al. (1999) os valores encontrados pelo método do balanço de energia usando a Razão de Bowen para a densidade de fluxo de calor sensível (H) e para a densidade de fluxo de calor latente (LE) devem ser consistentes fisicamente com as relações dos gradientes de fluxo. Por isso, Perez et al., (1999) descrevem uma série de critérios que devem ser utilizados para que não haja erros nas estimativas, aproveitando apenas dados coerentes fisicamente com a relação fluxo-gradiente que apresentam apenas os sinais corretos.

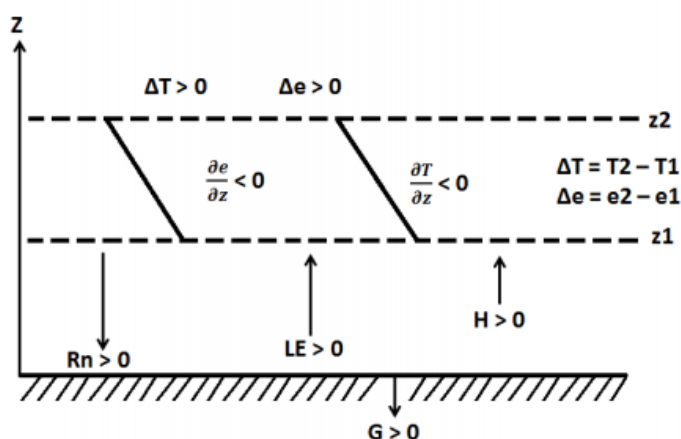


Figura 6. Representação esquemática dos fluxos de energia entre a superfície e a atmosfera levando em consideração dois níveis (z_1 , z_2) e representando a convenção de sinais. Fonte: Perez et al., 1999.

A Equação 17 deve ser sempre maior que zero, de acordo com as convenções de sinais da Figura 6. Os dados fornecidos pelo Método da Razão de Bowen estarão corretos desde que satisfaçam essa condição de desigualdade abaixo de qualquer sinal de $(R_n - G)$, mostrando que apenas algumas combinações de LE e H são possíveis:

$$\frac{\Delta e + \gamma \Delta t}{R_n - G} > 0 \quad \text{Equação 17}$$

Quando $R_n - G > 0$: Se $\beta > -1$, então LE deve ser sempre positivo, considerando que H pode ser positivo ou negativo, dependendo do sinal do β . Se $\beta < -1$, os únicos casos possíveis são $LE < 0$ e $H > 0$.

$$R_n - G > 0 \begin{cases} \beta > -1 \begin{cases} LE > 0 \\ H > 0 \text{ se } \beta > 0 \\ H < 0 \text{ se } \beta < 0 \end{cases} \\ \beta < -1 \begin{cases} LE < 0 \\ H > 0 \end{cases} \end{cases}$$

Segundo Perez et al., (1999), estas condições devem ser satisfeitas caso contrário o balanço de energia pelo método da Razão de Bowen indicará uma direção incorreta para os fluxos de calor sensível e latente, devendo, assim, descartar-se todos os dados que não respeitarem essas condições. Devido ao número de dados rejeitados ser pequeno em relação a quantidade total do conjunto de dados não foi utilizado nenhum preenchimento de falhas.

Para o procedimento de instalação dos equipamentos da torre micrometeorológica, assumiu-se que os gradientes de temperatura e pressão entre os termohigrômetros foram suficientemente distantes (MACHADO et.al 2016). Além disso, o MRB pode ainda falhar devido a três condições: (1) quando a resolução do sensor é inadequada para resolver os gradientes em ΔT e Δe (UNLAND et al., 1996), (2) devido as condições atmosféricas estáveis que causam $\beta \approx -1$, como durante ao amanhecer e ao anoitecer (ORTEGA-FARIAS et al., 1996), e (3) devido as mudam abruptas das condições atmosféricas (PEREZ et al., 1999).

Para uma superfície úmida, o valor de β deverá ser baixo, uma vez que a maior parte do saldo de radiação (R_n) será utilizada para evaporar a água superficial em forma de densidade de fluxo de calor latente (LE). Se a superfície estiver seca, o valor

de β deverá ser alto, uma vez que neste caso, a maior parte do saldo de radiação será utilizado para o aquecimento por meio de densidade de fluxo de calor sensível (H) (PEREIRA et al. 1997; ANDRADE et al., 2009; PEREIRA et al., 2012).

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Primeiramente, identificou a não normalidade da distribuição do conjunto de dados por meio do teste de Kolmogorov-Smirnov. A seguir obtiveram-se os resultados de médias e o desvio padrão com um intervalo de confiança de 95% pelo método de *Bootstrap* criado por Bradley Efrom (1993).

As diferenças sazonais e interanuais foram então avaliadas por meio do teste de Kuskal-Wallis (estatística não paramétrica devido a não normalidade dos dados) com nível de significância de 0.05. Ele é usado para testar a hipótese nula de que as populações possuem funções de distribuição iguais contra a hipótese alternativa de que as populações possuem funções de distribuição diferentes. (GOTELLI e ELLISON, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PADRÕES SAZONAIS DAS VARIÁVEIS MICROMETEOROLÓGICAS E DENSIDADES DE FLUXO DE ENERGIA.

A variabilidade sazonal proposta para esse estudo levou em consideração que região apresenta quatro períodos distintos: cheia (de janeiro a março), vazante (de abril a junho), seca (de julho a setembro) e enchente (de outubro a dezembro) (SILVA, 2013). Os períodos de enchente e cheia correspondem ao período chuvoso da região entre os meses de outubro a março pluviosidade acima de 100 mm/mês. Já os períodos de vazante e seca correspondem ao período de seca da região por apresentarem pluviosidade inferior a 100 mm/mês. (ROTHMUND, 2017; BIUDES et al., 2015).

4.1.1 Padrões Sazonais de Temperatura e Umidade Relativa do Ar.

Os resultados das médias mensais de temperatura do ar e Umidade Relativa do ar da área de estudo nos anos de 2012 e 2013 são apresentados na Figura 7.

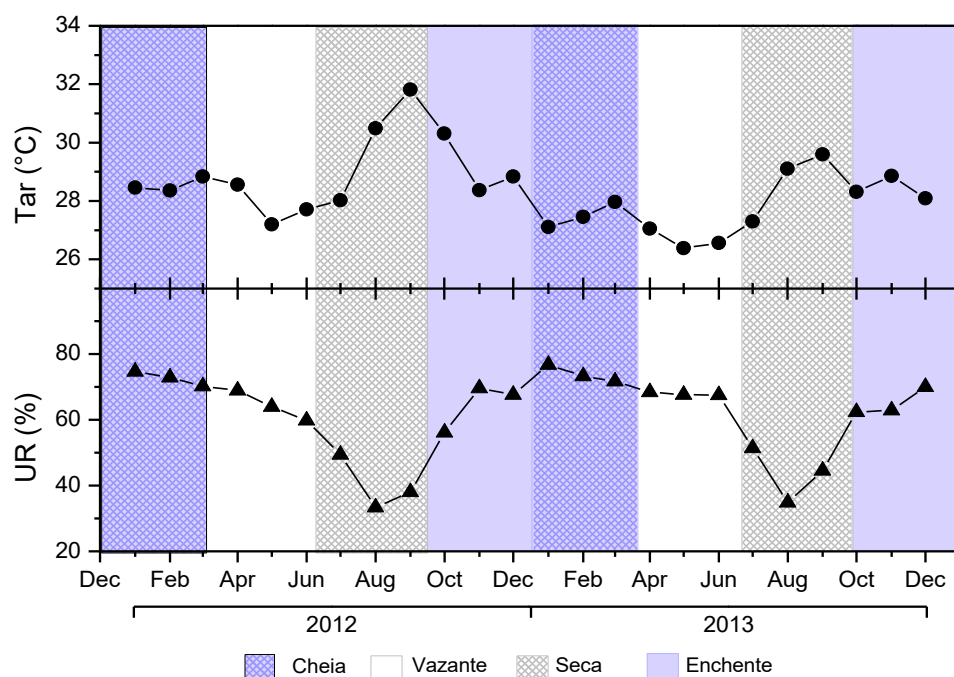


Figura 7. Valores de Temperatura do Ar (Tar) e Umidade Relativa do Ar (UR) referente dos anos de 2012 e 2013.

Durante o ano de 2012 a temperatura média mensal variou entre 27,20 °C e 31,81 °C na região da Baía das Pedras, com valor mínimo em maio e valor máximo em setembro, e média anual de 28,91 °C. Para o ano em questão os valores médios de temperatura do ar no período de cheia foi de 28,55 °C, no período de vazante foi de 27,82 °C, no período de seca foi de 30,10 °C e no período de enchente foi de 29,17 °C.

Durante o ano de 2013 a temperatura média mensal variou entre 26,39 °C a 29,59 °C com média anual foi de 27,82°C. Semelhante ao ano anterior as menores e maiores temperaturas foram observadas nos meses de maio e setembro, respectivamente. Para o ano de 2013 os valores médios de temperatura do ar no período de cheia foi 27,51°C, no período de vazante foi de 26,67°C, no período de seca foi de 28,66 °C e no período de enchente foi de 28,42°C.

Estudos realizados com uma abordagem diferente em relação as classificações dos períodos, apresentam resultados semelhantes aos encontrados no estudo, com temperaturas médias de 29°C durante o verão, que corresponde ao período de enchente e de cheia da Baía das Pedras, e valores entre 28 °C e 31°C no período seco, correspondente as vazante e seca (MENDES et al., 2019; DALLACORT et al., 2015).

A umidade relativa do ar durante o ano de 2012 variou entre 33,35 % a 74,65%, com valor mínimo em agosto e valor máximo em janeiro, e média anual de 60,38 %. Os valores médios sazonais foram de 72,58 % no período de cheia, 64,22 % no período de vazante, 40,26 % no período de seca e 64,45 % no período de enchente.

No ano de 2013, a umidade relativa do ar variou entre 34,88 % a 76,76 %, com valor mínimo e máximos também em agosto e janeiro, respectivamente, e média anual de 62,60 %. Nesse ano a umidade relativa do ar no período de cheia foi de 73,88 %, no período de vazante foi de 67,85 %, no período de seca foi de 43,61 % e no período de enchente foi de 65,05 %.

Os períodos de enchente, cheia e vazante apresentam valores entre 60 a 70% de umidade relativa do ar coincidindo com estudos realizados em regiões próximas à Baía das Pedras (CURADO et al.,2011). Os baixos valores de umidade do ar apresentados durante o período de seca se devem ao menor número de chuvas e a vegetação que passa a possuir menor densidade gerando maior exposição do solo a

radiação. Além disso, o vento consegue circular com maior facilidade fazendo com que haja perda parcela de água disponível no ar em forma de vapor d'água (CAOAVILLA & SANCHEZ, 2011).

4.1.2 Padrões Sazonais das Densidades de Fluxos de Energia.

Os resultados das médias mensais das densidades de fluxos de radiação na região da Baía das Pedras nos anos de 2012 e 2013 são apresentados na Figura 8.

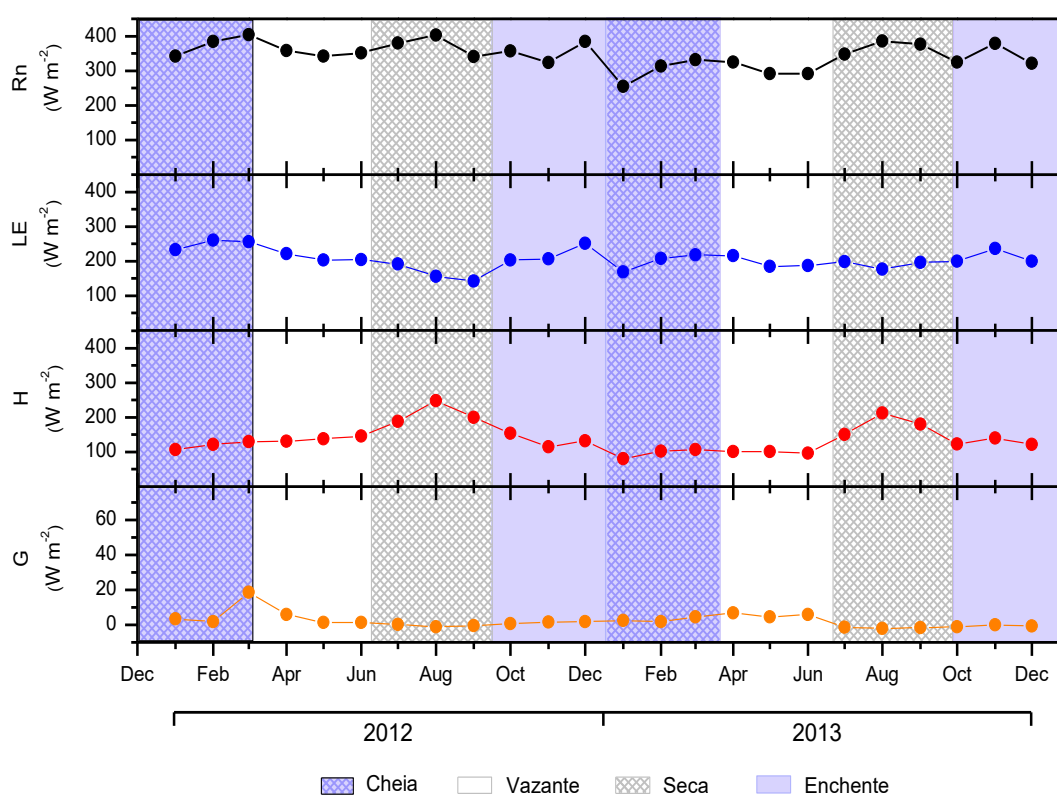


Figura 8. Valores do Saldo de Radiação (Rn), Fluxo de Calor Latente (LE), Fluxo de Calor Sensível (H) e Fluxo de Calor no Solo (G) dos anos de 2012 e 2013.

No ano de 2012 os valores mensais de saldo de radiação (Rn) variaram entre $323,16 \text{ Wm}^{-2}$ e $403,79 \text{ Wm}^{-2}$ na região da Baía das Pedras, com mínimo em novembro e máximo em março, e média anual foi de $364,36 \text{ Wm}^{-2}$. Os valores médios de Rn no período de cheia foi $376,86 \text{ Wm}^{-2}$, no período de vazante foi de $350,75 \text{ Wm}^{-2}$, no período de seca foi de $374,79 \text{ Wm}^{-2}$ e no período de enchente foi de $355,05 \text{ Wm}^{-2}$.

No ano de 2013 os valores mensais de saldo de radiação (Rn) variaram entre 254,93 Wm⁻² e 385,69 Wm⁻², com valor mínimo em janeiro e máximo em agosto, e média anual foi de 328,57 Wm⁻². Os valores médios de Rn, de 2013, no período de cheia foi 300,29 Wm⁻², no período de vazante foi de 302,33 Wm⁻², no período de seca foi de 369,87 Wm⁻² e no período de enchente foi de 341,78 Wm⁻².

Nos períodos de cheia e enchente, nos dois anos analisados, a maior parcela do saldo de radiação (Rn) foi destinada a densidade de fluxo de calor latente (LE). No período de cheia do ano de 2012 o valor médio de LE foi de 249,74 Wm⁻² correspondendo a 66,3 % do saldo de radiação (Rn) e no período de enchente o valor médio de LE foi de 220,38 Wm⁻² correspondendo a 62% do saldo de radiação Rn. No ano de 2013 o valor médio de LE no período de cheia foi de 198,11 Wm⁻² (65,97 % do Rn) e no período de enchente foi de 211,96 Wm⁻² (62% do Rn).

Os resultados encontrados para os períodos de enchente e de cheia são semelhantes aos encontrados em estudos anteriores realizados por Curado et al. (2011) e Biudes et. (2015), nos quais apesar de adotarem uma abordagem diferente em relação a classificação dos períodos de sazonalidade, demonstraram que a parcela destinada ao fluxo de calor latente é maior nos meses de outubro a março, correspondente ao período de enchente e de cheia.

Nos períodos de vazante e seca, a menor parcela do saldo de radiação (Rn) foi destinada a densidade de fluxo de calor latente (LE), atingindo os valores mínimos nos dois anos analisados. No período de vazante do ano de 2012 o valor médio de LE foi de 210,04 Wm⁻² correspondendo a 59,88% do saldo de radiação (Rn) e no período de seca o valor médio de LE foi de 163,45 Wm⁻² correspondendo a 43,61 % do saldo de radiação Rn. No ano de 2013 o valor médio de LE foi de 195,85 Wm⁻² (64,78 % do Rn), durante a vazante, e de LE é de 190,95 Wm⁻² (43,61% do Rn) durante a seca.

No período de vazante, apesar de a frequência de chuvas na região pantaneira começar a diminuir, ainda assim existe uma grande quantidade de água presente na superfície do solo, que tende a reincidir até desaparecer durante o período de seca, ocasionando, dessa maneira a redução da disponibilidade hídrica do ambiente. Nessas condições, conforme indicam os trabalhos de Bastable et al. 1993, Meinzer et al., 1999

e Biudes et al., 2009, a energia disponível do (R_n) é utilizada para o aquecimento do solo e da camada de ar adjacente, provocando, conseqüentemente, o aumento da parcela da densidade de fluxo de calor sensível (H), e a redução da parcela da componente de densidade de fluxo do calor latente (LE). Contudo, apesar da redução dos valores de LE entre a cheia e a seca, o valor da densidade de fluxo dessa componente ainda pode ser considerado alto em relação a outras regiões como as áreas de Cerrado (MACHADO et al., 2016).

Os valores altos de densidade de fluxo de calor latente (LE) encontrados para o Pantanal, no período de vazante e seca demonstram que na região, mesmo sem a ocorrência de precipitação ainda é alta a parcela destinada ao processo de evapotranspiração. Esses resultados, são diferentes dos encontrados por Rodrigues et al. (2014) em estudo realizado no Bioma Cerrado, no qual, para o período de seca há predominância do fluxo de calor sensível, devido a redução da disponibilidade hídrica que causa diminuição da capacidade de transpiração da vegetação aliado a redução da evaporação da água no solo.

No período de seca, em ambos os anos analisados, apenas no final mês de julho que a maior parte do saldo de radiação (R_n) passa ser destinado ao fluxo de calor de sensível (H), responsável pelo aquecimento ar e por valores de temperaturas elevadas para esse período. O valor de saldo de radiação (R_n) destinado ao fluxo de calor sensível (H) no período de seca foi de 56,49 % em 2012 e de 48,89 % no ano de 2013. Já no início do período de enchente, entretanto a parcela do fluxo de calor latente passa corresponder a maior parte do saldo de radiação. As densidades de fluxos de calor latente (LE) e de calor sensível (H), assim, apresentam comportamentos opostos, sendo condicionados pela disponibilidade hídrica da região que muda ao longo do no ano (CURADO et al., 2011).

Nos dois anos avaliados o fluxo de calor no solo representou cerca de 3% da parcela do R_n , sendo assim, por ser um valor muito baixo, ele pôde ser desconsiderado da análise proposta para esse trabalho.

4.2 DINÂMICA HORÁRIA

O comportamento horário diurno da temperatura do ar (Tar) de um dia característico, de cada período sazonal, é apresentado na Figura 9. Observa-se que, em todos os períodos a temperatura apresenta valores médios mínimos no início da manhã (24,5°C, 24,5 °C, 24,4 °C e 24,6°C) alcançando valores médios máximos próximos ao médio dia local (30,3°C, 29,8°C, 29,3°C e 30,5°C), correspondente ao período de cheia, vazante, seca e enchente dos dois anos, respectivamente. Após o meio dia, nos períodos de cheia, vazante e enchente a temperatura tende a se manter constante, com pequena redução até às 18:00, contudo, na seca observa-se uma redução de 4°C a 6°C no início da noite.

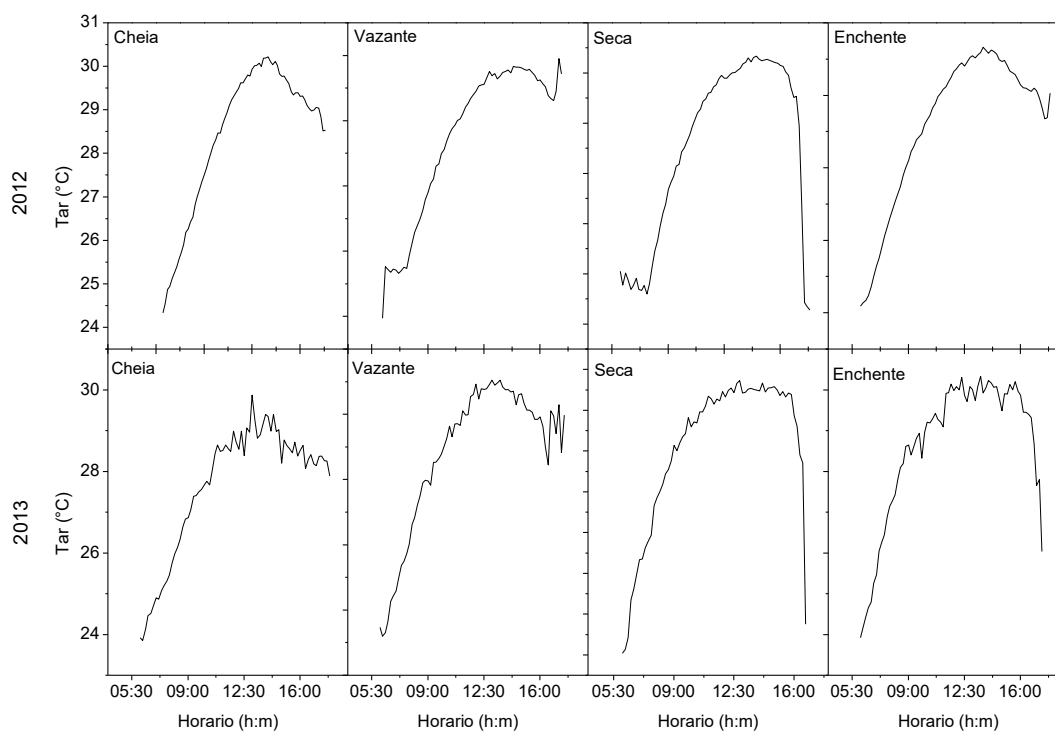


Figura 9. Médias horárias de Temperatura do ar (Tar) e de Umidade Relativa do Ar (UR) durante o período de cheia, vazante, seca e enchente dos anos de 2012 e de 2013.

Contrário à temperatura do ar, a umidade relativa do ar (UR), todos os períodos analisados, é maior durante o início da manhã atingindo valores mínimos próximo ao meio dia (FIGURA 10). Nos períodos de enchente e cheia a umidade relativa do ar apresenta pequena variação com máximas de 92 % e 85 % e mínimas de 65,5 % e 60

%, respectivamente. Nos períodos de vazante e seca, entretanto há uma maior variação da UR com máximas de 89 % e 75% e mínimas de 55 % e 43 %, respectivamente.

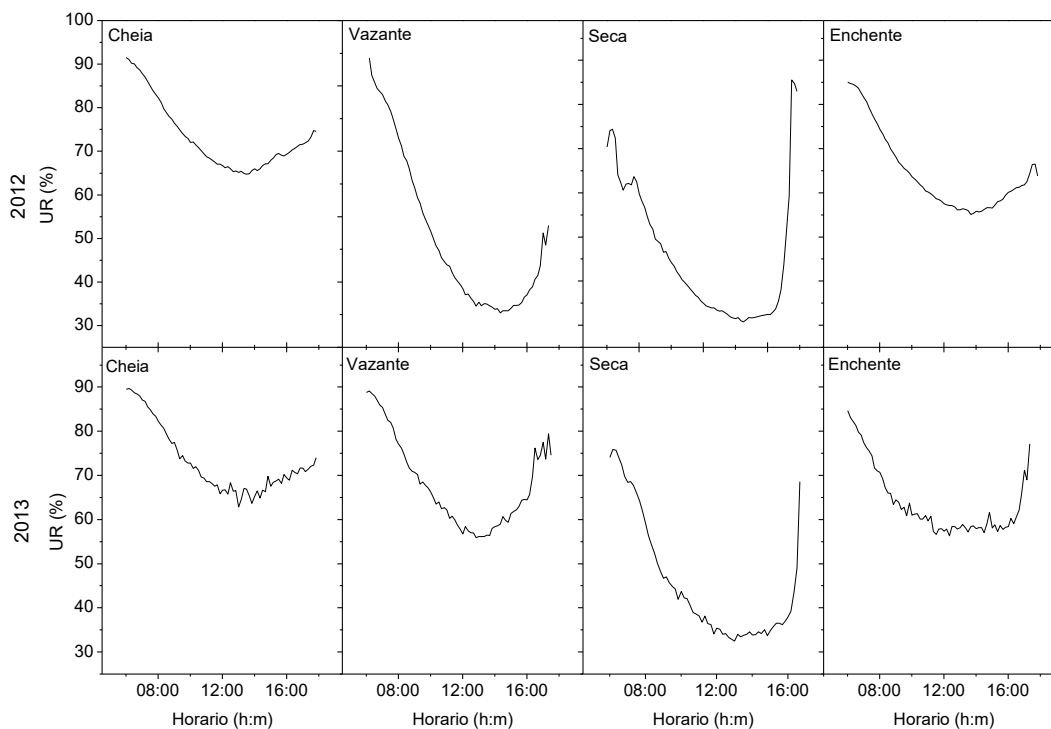


Figura 10. Valores horários de cada período de Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A Figura 11 mostra a distribuição horária dos fluxos de radiação de um dia característico de cada período. Observa-se que, em todos os períodos o saldo de radiação apresenta valores médios acima de 500 Wm^{-2} após o meio dia. Em quase todos os períodos a maior parte da energia é destinada a componente de densidade de fluxo de calor latente (LE), no período de vazante ocorre uma redução, e apenas no período de seca ocorre a inversão e o fluxo de calor sensível (H) passa a ser maior entre o horário das dez e quatorze horas em ambos os anos analisados.

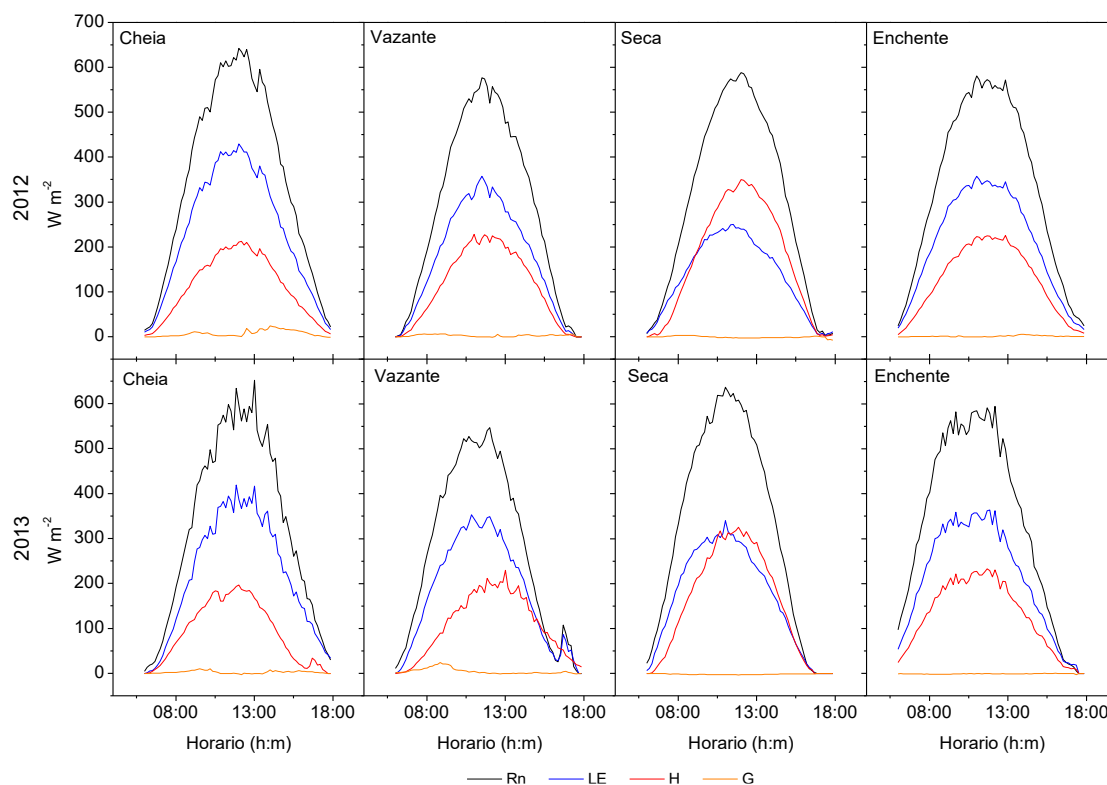


Figura 11. Valores de Saldo de Radiação (Rn), Fluxo de Calor Latente (LE), Fluxo de Calor Sensível (H) e de Fluxo de Calor no Solo (G) em cada período.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA

Para análise das variáveis que influenciam diretamente as componentes do balanço de energia, foi utilizado o método de comparações de médias, *Bootstrap*, e através dos intervalos de confiança superior (LS) e inferior (LI) a um nível de significância de 95% poder concluir qual delas variou significativamente entre os períodos propostos.

Os dados utilizados para *Bootstrap* foram a temperatura e umidade relativa do ar e as densidades de fluxos de calor sensível (H) e latente (L), onde utilizamos médias diárias para estas variáveis, e estas foram reamostradas aleatoriamente 1000 vezes, obtendo médias para a variável determinada a cada período e posteriormente podemos estimar uma média geral e os desvios padrões. A partir dessas medias geradas foi calculado o teste de Kruskal-Wallis para o saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e fluxo de calor no solo (G).

4.3.1 Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A Tabela 1 apresenta as médias de temperatura e umidade relativa do ar durante cada período do ano de 2012

Tabela 1. Valores de médias de temperatura do ar e umidade relativa do ar em cada período do ano de 2012 com intervalos de confiança obtidos pelo método *Bootstrap*.

<i>Período</i>	<i>Tar</i> (°C)	<i>UR</i> (%)
<i>Cheia 2012</i>	28,71 ± 1,87	72,80 ± 7,39
<i>Vazante 2012</i>	27,77 ± 2,45	64,53 ± 10,22
<i>Seca 2012</i>	30,16 ± 3,26	39,99 ± 13,33
<i>Enchente 2012</i>	29,40 ± 2,50	64,44 ± 11,38

A Tabela 2 apresenta as médias de temperatura e umidade relativa do ar durante cada período do ano de 2013.

Tabela 2. Valores de médias de temperatura do ar e umidade relativa do ar em cada período do ano de 2013 com intervalos de confiança obtidos pelo método *Bootstrap*.

<i>Período</i>	<i>Tar</i> (°C)	<i>UR</i> (%)
<i>Cheia 2013</i>	27,67 ± 1,80	74,24 ± 8,01
<i>Vazante 2013</i>	26,68 ± 2,64	68,79 ± 10,09
<i>Seca 2013</i>	27,55 ± 5,18	45,44 ± 14,37
<i>Enchente 2013</i>	28,69 ± 2,15	64,79 ± 10,68

Nos dois anos analisados, os períodos de cheia apresentam os menores valores de desvio padrão indicando uma menor amplitude e variabilidade das variáveis de

temperatura e umidade relativa do ar em relação aos outros períodos analisados. Segundo Curado et al., 2011 e Novais et al., 2012 durante o período de seca o menor conteúdo de água na atmosfera gera maiores amplitudes de temperatura e umidade relativa do ar. De acordo com Santos et al., 2013 a maior quantidade de vapor d'água na atmosfera amenizam a amplitude das variáveis climáticas, além de destinar maior parte da energia para o processo de evapotranspiração em forma de densidade de fluxo de calor latente (LE) (SANTOS et al.,2013).

4.3.2 Densidades de Fluxos de Energia

O teste de Kruskal-Wallis foi aplicado após a realização do *Bootstrap*, foi possível avaliar se houve ou não diferença significativa sazonal interanual entre os períodos. O saldo de radiação (Rn) apresentou uma diferença interanual nos períodos de seca com p-valor = 0.35 e no período de enchente com p-valor = 0.49. Já o fluxo de calor latente (LE) apresentou uma diferença interanual nos períodos de vazante com p-valor = 0.15 e de enchente com p-valor = 0.44. O fluxo de calor sensível (H) apresentou uma diferença interanual no período de enchente com o p-valor = 0.51.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi possível identificar padrões sazonais dos fluxos de energia e matéria tomando como base de classificação de período de enchente, cheia, vazante e seca. Notou-se que os períodos que apresentam maiores disponibilidade hídrica e grande parte é destinado ao processo de evapotranspiração por meio do fluxo de calor latente.

Em períodos de seca a maior contribuição da energia disponível para o ecossistema foi em forma de calor sensível, contudo, para o ambiente de estudo, mesmo durante o período seca o fluxo de calor latente ainda é elevado.

De acordo com o teste de Kruskal-Wallis existe diferenças estatísticas nos dados analisados em algumas componentes para alguns períodos. Houve diferença interanual na componente do saldo de radiação (R_n) do ano de 2012 para o ano de 2013 para os períodos de seca e de enchente.

Já a componente fluxo de calor latente (LE) apresenta variação interanual nos períodos de vazante e enchente, enquanto o fluxo de calor sensível (H) apresenta somente no período de enchente.

As variações nos fluxos de calor latente e sensível estão relacionadas ao alagamento das áreas pantaneiras. No início do período de enchente ocorre o aumento da disponibilidade hídrica do ambiente, favorecendo, dessa maneira, a utilização da energia disponível para os processos de evapotranspiração.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDON, M. D. M., SILVA, J., SOUZA, I. D. M., ROMON, V. T., RAMPAZZO, J., & FERRARI, D. L. Desmatamento no bioma Pantanal até o ano 2002: relações com a fitofisionomia e limites municipais. **Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2007.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., & SPAROVEK, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ALHO, C. J. R. Conservação da Biodiversidade da Bacia do Alto Paraguai. Campo Grande: **Editores UNIDERP**, 2003. 420 p.
- ALVES, G. B. M. **Efeitos da inundação sobre o manejo da pecuária no pantanal norte com emprego de imagens orbitais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação e Geografia, Rondonópolis, 2015.
- ANDRADE, N. D.; AGUIAR, R. G.; SANCHES, L.; ALVES, E. C. R. F.; NOGUEIRA, J. D. S. (2009). Partição do saldo de radiação em áreas de floresta amazônica e floresta de transição amazônia-cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.3, p. 346-355, 2009.
- ASSINE, M. L., PADOVANI, C. R., ZACHARIAS, A. A., ANGULO, R. J., & DE SOUZA, M. C. Compartimentação geomorfológica, processos de avulsão fluvial e mudanças de curso do Rio Taquari, Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 1, 2005.
- BALDOCCHI, D.D. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future, *Global Change Biol.* 9, pp. 479–492, 2003.
- BATTIROLA, L. D.; MARQUES, M. I.; BRESCOVIT, A. D., NETO, G. H.; ANJOS, K. C. Comunidade edáfica de Araneae (Arthropoda, Arachnida) em uma floresta sazonalmente inundável na região Norte do Pantanal de Mato Grosso, Brasil. *Biota Neotropica*, v. 10, 2010.
- BIUDES, M.S.; CAMPELO JÚNIOR, J.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, n.2, p.135-143, 2009.
- BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L.; MACHADO, N. G.; ARRUDA, P. H. Z.; NEVES, G. A. R.; LOBO, F. A.; NEALED, 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.
- BLANK, D.M.P. O Contexto Das Mudanças Climáticas E As Suas Vítimas. The Context Of Climate Changes And Its Victims. **Mercator**, v. 14, n. 2, p. 157-172, 2015.
- BORMA, L. S.; ROCHA, H. R.; CABRAL, O. M.; VON RANDOW, C.; COLLICCHIO, E.; KURZATKOWSKI, D.; BRUGGER, P. J.; FREITAS, H.; TANNUS, R.; OLIVEIRA, L.; RENNÓ, C. D.; ATARXO, P. Atmosphere and hydrological controls of the evapotranspiration over a floodplain forest in the Bananal Island region, Amazonia. *Journal of Geophysical Research*. v. 114, 2009.
- CORINGA, E. de A. O.; COUTO, E. G.; PEREZ, X. L. O.; TORRADO, P. V. Atributos de solos hidromórficos no Pantanal Norte Matogrossense. *Acta Amazônica*, v. 42, n. 1, p. 19-28, 2012.

- CUI, Y. P.; LIU, J. Y.; HU, Y. F.; WANG, J. B.; KUANG, W. H. Modeling the radiation Balance of Different Urban Underlying Surfaces. *Chinese Science Bulletin*, v.57, n. 9, p. 1046 - 1054, 2012.
- COUTO RODRIGUES, O. M. A. O ciclo solar. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto - Departamento de Matemática Aplicada. Portugal. 2000.
- CURADO, L. F. A.; RODRIGUES, T. R.; BIUDES, M. S.; de Paulo, S. R.; de Paulo, I. J. C.; Nogueira, J. S. Estimativa sazonal da emissividade atmosférica através da Equação de Brutsaert no norte do Pantanal Matogrossense. *Ciência e Natura*, v. 33 n. 2, p. 167, 2011.
- CURADO, L. F. A., DE SOUZA NOGUEIRA, J., SANCHES, L., RODRIGUES, T. R., DE ALMEIDA LOBO, F.; BÍUDES, M. S. Inter Seasonality of the Energy Fluxes in Brazilian Savana — Mato Grosso — Brazil. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2014.
- DE ARAÚJO M. L. S.; SANTOS, J. R. N.; FEITOSA, F. E. C. S.; DOS SANTOS, J. S.; SILVA, V. A. R.; ALMEIDA, J. L.; SILVA, F. B. Caracterização espaço-temporal dos componentes do balanço de radiação e calor na região de transição Amazônia-Cerrado. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.24, 2019.
- DE MUSIS, C. R.; JUNIOR, J. H. C; FILHO, N. P. Caracterização climatológica da Bacia do Alto Paraguai, **Geografia**, v. 22, p. 5–21, 1997.
- DALLACORT, R.; DA SILVA NEVES, S. M. A.; NUNES, M. C. M.; Variabilidade da temperatura e das chuvas de Cáceres/Pantanal Mato-Grossense-Brasil. *Geografia (Londrina)*, v. 23, n. 1, p. 21-33, 2015.
- DUARTE, L. G., ROMERA, K. S., SABINO, M., CURADO, L. F. A., DA SILVA PALÁCIOS, R., & DE SOUZA NOGUEIRA, J. Dynamics of heat fluxes by bowen and matmxflx and noah fldas products in the pantanal of mato grosso. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v.46, n.3, p.07-19, 2019.
- 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.
- GLANZ, D. J.; ORLOB, G. T. Lincoln Lake Ecologic Study, Water Resources Engineers Report, DACW27-73-C-006, 1973.
- GOMES, H. B.; DA SILVA, B. B.; CAVALCANTI, E. P.; DA ROCHA, H. R. Balanço de Radiação em Diferentes Biomas no Estado de São Paulo Mediante Imagens Landsat 5. *Geociências*, 28, n. 2, p.153 - 164, 2009.
- TOZATO, H. C.; DUBREUIL, V.; DE MELLO-THÉRY. N. A. Tendências E Rupturas Climato-Hidrológicas No Sítio Ramsar PARNA Pantanal (MT, Brasil). **Revista Brasileira de Climatologia**, v.13, p.164-184, 2013.
- ESCALANTE-RAMIREZ, B. Remote Sensing-Advanced Techniques and Platforms. Chapter 16 – Vegetation Production in Terrestrial Ecosystems, 2012.
- FANTIN-CRUZ, I.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; COLLISCHONN, W.; CUNHA, C.N. Unidades fitofisionômicas em mesoescala no Pantanal Norte e suas relações com a geomorfologia. *Biota Neotrop.* **Campinas**, vol.10 n2, p 31-38, 2010.
- IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2004 <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>
- GONÇALVES, H. C; MERCANTE, M. A; SANTOS, E. T. Hydrological cycle. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, p. 241–253, 2011.

- GUEDES, K.M.R. Relatório De Avaliação Dos Impactos Das Tecnologias Geradas Pela Embrapa, 2019.
- JUNK, W. J; BROWN, M; CAMPBELL, I. C; FINLAYSON, M; GOPAL, B; RAMBERG, L; WARNER, B. G. The comparative biodiversity of seven globally important wetlands: a synthesis. **Aquatic Sciences**, v. 68, p. 400-414, 2006.
- JUNK, W. J; NUNES DA CUNHA, C; WANTZEN, K. M; PETERMANN, P; STRUSSMANN, C; MARQUES, M. I; ADIS, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, v. 68, p. 278–309. 2006.
- JUNK, W. J.; PIEDADE, M. T. F.; DA CUNHA, C. N.; WITTMANN, F.; SCHÖNGART, J.; Macrohabitat studies in large Brazilian floodplains to support sustainable development in the face of climate change. *Ecohydrology & Hydrobiology*, v.18, n.4, p.334-344, 2018.
- LEA, G. R. S.; SOUZA, C. A. Pantanal de Cáceres: composição granulométrica dos sedimentos de fundo no rio Paraguai entre a foz do rio Cabaçal e a cidade de Cáceres, Mato Grosso, Brasil. *Amби-Аgua*, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 263-276, 2012.
- LEITÃO, M.M.V.B.R.; MOURA, M.S.B.; SALDANHA, T.R.F.C.; SOBRINHO, J.E.; OLIVEIRA, G.M. Balanço de radiação sobre um solo descoberto para quatro períodos do ano. *Revista de Ciência e Tecnologia*, Piracicaba, v. 15, p. 57-63, 2000
- MACHADO, N. G; BIUDES, M. S; ANGELINI, L P; MÜTZENBERG, D. M. S; NASSARDEN, D. C. S; BILIO, R. S; SILVA, T. J. A; NEVES, G. A. R; ARRUDA, P. H. Z; 2, NOGUEIRA, J. S. Sazonalidade do Balanço de Energia e Evapotranspiração em Área Arbustiva Alagável no Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 82-91, 2016.
- MACHADO, N. G; SANCHES, L; SILVA, L. B; NOVAIS, J. W. Z; AQUINO, A. M; BIUDES, M. S; PINTO-JUNIOR, O. B; NOGUEIRA, J. S. Soil nutrients and vegetation structure in a neotropical seasonal wetland. *Applied Ecology and Environmental Research*. v. 13, n. 2, p. 289–305, 2015.
- MENDES, R.; DE MORAIS DANELICHEN, V. H.; PEREIRA, O. A. Avaliação da temperatura da superfície no Pantanal Mato-grossense por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 05, p. 1784-1793, 2019.
- BRASIL; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA).
- ____ **Caderno da Região Hidrográfica do Paraguai**, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.
- ____ **Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite: monitoramento do Bioma Pantanal 2008-2009**. Brasília, Brasil. 2011c. Disponível em:
http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/arquivos/relatorio_tecnico_monitoramento_pantanal_2008_2009_72.pdf.01/08/2019
- NASSARDEN, D.C.S. Dinâmica Sazonal de nutrientes no solo em diferentes fitofisionomias vegetais no Norte do Pantanal Mato-Grossense. Cuiabá, 2015, dissertação (mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.
- NOVAIS, J. W. Z., SANCHES, L., MACHADO, N. G., DA SILVA, L. B., AQUINO, A. M., RODRIGUES, T. R. Variação horária e sazonal da radiação solar incidida e refletida e suas relações com variáveis micrometeorológicas no Pantanal Norte Mato-grossense. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 38, p. 96-108, 2015.

- NUNES DA CUNHA, C.; JUNK, W.J. Distribution of wood plant communities along the flood gradient in the Pantanal of Poconé, Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Ecology and Environmental Sciences**, v.27, p.63-70, 2001.
- NUNES DA CUNHA, C; JUNK, W.J. Year-to-year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. **Applied Vegetation Science**, v. 7, p. 103-110. 2004.
- NUNES DA CUNHA C.; PIEDEDE M.T.F.; JUNK W.J.; Classificação e Delineamento das Áreas Úmidas Brasileiras e de seus Macrohabitats EdUFMT, Cuiabá, Brasil 2014.
- NUSSENZVEIG, H. M. Curso de física básica: Eletromagnetismo (vol. 3). Editora Blucher, 2015.
- PAVÃO, L. L., SANCHES, L., JÚNIOR, O. B. P., & SPOLADOR, J. The influence of litter on soil hydro-physical characteristics in an area of Acuri palm in the Brazilian Pantanal. **Ecology & Hydrobiology**. 2019.
- PEREIRA, O. A. Estimativas do balanço de energia e fluxo de CO₂ por diferentes métodos em floresta de transição no sudoeste da Amazônia. Cuiabá, 2013. 107f. Tese (Doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.
- PEREIRA, P. L.; RODRIGUES, H.J.B.; Análise e estimativa dos componentes do balanço de energia em ecossistema de manguezal amazônico. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 1, 2012.
- RODRIGUES, T.R. Análise de parâmetros biofísicos que controlam o fluxo de calor latente em área de Cerrado Campo Sujo. 2014. 94p. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.
- RODRIGUES, T.R, VOURLITIS, G.L, LOBO, F.A, de OLIVEIRA, R.G, NOGUEIRA, J.S. Seasonal Variation in Energy Balance and Canopy Conductance For a Tropical Savanna Ecosystem of South Central Mato Grosso, Brazil. *Journal of Geophysical Research (Biogeoscience)*, v. 119, p. 1-13, 2014
- ROTHMUND, L. D. Efeito da cobertura vegetal na dinâmica dos fluxos de energia no Pantanal Mato-Grossense. Cuiabá, 2017, dissertação (mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.
- SAKURAI, K. The Sun as an Inconstant Star. *Space Science Reviews*, 38, p. 243 - 279, 1984
- SANTOS, R. M. D. A intensificação da bovinocultura de corte como um instrumento na redução do desmatamento nos diferentes biomas brasileiros, 2018.
- SANTOS-SILVA, L., GOLOVATCH, S. I., PINHEIRO, T. G., CHAGAS-JR, A., MARQUES, M. I., e BATTIROLA, L. D. Myriapods (Arthropoda, Myriapoda) in the Pantanal of Poconé, Mato Grosso, Brazil. **Biota Neotropica**, v.19 n.3, 2019.
- SCHULZ, C.; WHITNEY, B. S.; ROSSETTO, O. C.; NEVES, D. M.; CRABB, L.; OLIVEIRA, E. C.; SILVA, C. A. Physical, ecological and human dimensions of environmental change in Brazil's Pantanal wetland: Synthesis and research agenda. *Science of the Total Environment*, 2019.
- SILVA, J. D. S. V.; ABDON, M. de M. Delimitação do pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 1998.
- SILVA, L. B. Relações entre aporte de serrapilheira, nutrientes e efluxo de dióxido de carbono em floresta inundável de *Vochysia divergens* Pohl no Pantanal Mato-Grossense. Tese

de Doutorado. Tese de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, 2013.

SOUZA, R. L. M. **Balço de energia na camada limite superficial sobre o Pantanal Sul Matogrossense** – estação seca, 2011. 121 p. Dissertação (Engenharia Civil) – COPPE – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil.

SOTIROVSKI, P. The Sun as a Star. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A271, p. 238 - 246, 1988.

- Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

TEIXEIRA, A. H. C. e BASTIAANSEN, W. G. M. Five methods to interpret field measurements of energy fluxes over a micro-sprinkler-irrigated mango orchard. Irrigation Science. v. 30, p. 13-28, 2012.

WILSON, K.B., HANSON, P.J., BALDOCCHI, D. D. Factors controlling evaporation and energy balance partitioning beneath a deciduous forest over an annual cycle. Agricultural. Forest. Meteorology. v. 102, p. 83–103. 2000.