Revista da ANPEGE. v. 16. nº. 29, p. 109 - 132, ANO 2020. e-ISSN: 1679-768X
https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege. // DOI 10.5418/ra2020.v16i29.10211

COMPORTAMENTO DO CICLO HIDROLÓGICO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI E SUAS RELAÇÕES COM AS INUNDAÇÕES DO BIOMA PANTANAL NO PERÍODO DE 2000 A 2016

BEHAVIOR OF THE HYDROLOGICAL CYCLE OF THE ALTO PARAGUAY BASIN AND ITS RELATIONS WITH THE FLOODS OF THE PANTANAL BIOME IN THE PERIOD FROM 2000 TO 2016

COMPORTAMIENTO DEL CICLO HIDROLÓGICO DE LA CUENCA DEL ALTO PARAGUAY Y SUS RELACIONES CON LAS INUNDACIONES DEL BIOMA PANTANAL EN EL PERÍODO DE 2000 A 2016

Raquel de Cássia Ramos, Gabriel Pereira, Francielle da Silva Cardozo

RESUMO

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) possui três regiões distintas: o Planalto, o Pantanal e o Chaco. O Pantanal é o maior sistema contínuo de zonas úmidas do mundo e maioria desses ecossistemas são extremamente sensíveis aos aspectos da sazonalidade das chuvas. Para explicar a relação entre as variações das áreas alagadas anuais com os dados de precipitação de toda a BAP, foram utilizados dados de precipitação do Climate Hazards Group InfraRed Precipitation Station (CHIRPS) analisados em bimestres, trimestre e quadrimestres com a área alagada do Pantanal, onde foi possível verificar que

as análises bimestrais Janeiro/Fevereiro (J/F) e Fevereiro/Março (F/M) apresentaram uma correlação de 0,71 e 0,62, respectivamente, explicando em até 50% as variações das áreas alagadas no bioma. Trimestralmente, os meses Janeiro/Fevereiro/Março (J/F/M) explicaram 61% das variações das áreas alagadas. Em relação às análises dos quadrimestres, Janeiro/Fevereiro/Março/Abril (J/F/M/A) explicaram 69% das áreas alagadas.

Palavras-Chave: Bacia do Alto Paraguai; precipitação; áreas inundadas.

ABSTRACT

The Alto Paraguay Basin (BAP) it has three distinct regions: the Plateau, the Pantanal and the Chaco. The Pantanal is the largest continuous system of wetlands in the world and most of these ecosystems are extremely sensitive to the seasonal aspects of rainfall. In order to explain the relationship between variations of annual flooded areas and precipitation that occur in APB, the Tropical Climate Hazards Group InfraRed Precipitation Station (CHIRPS) data were analyzed in the bimonthly, trimester and quarterly periods with the wetland area of the Pantanal, (J/F) and February / March (F/M) showed a correlation of 0.71 and 0.62, respectively, explaining variations of flooded areas in biome. Related to trimesters, the January / February / March (J/F/M) explained 61% of the variations of flooded areas. Regarding the analyzes of the four-month periods, January / February / March / April (J/F/M/A) explained 69% of flooded areas.

Key words: Alto Paraguay Basin; precipitation; flooded areas.

RESUMEN

La Cuenca del Alto Paraguay (CAP) tiene tres regiones distintas: el Planalto, el Pantanal y el Chaco. El Pantanal es el sistema más grande continuo de zonas húmedas del mundo y la mayoría de esos ecosistemas son extremamente sensibles a los aspectos de la estacionalidad de las lluvias. Para explicar la relación entre las variaciones de las áreas inundadas anuales con los datos de precipitación de toda la CAP, se utilizan datos de precipitación del Climate Hazards Group Infra Red Precipitation Station (CHIRPS) analizados en bimestres, trimestres y cuatrimestres con el área inundada del Pantanal, donde fue posible comprobar que los análisis bimestrales Enero/Febrero (E/F) y Febrero/Marzo (F/M) demuestran una correlación de 0,71 y 0,62, respectivamente, explicando en hasta 50% de las variaciones de las áreas inundadas del bioma. Trimestralmente, los meses Enero/Febrero/Marzo (E/F/M) explican el 61% de las variaciones de las áreas inundadas. En relación a los análisis de los cuatrimestres Enero/Febrero/Marzo/Abril (E/F/M/A), explican el 69% de las áreas inundadas.

Palabras claves: Cuenca del Alto Paraguay; precipitación; áreas inundadas.

Introdução

O Pantanal encontra-se na bacia do Alto Paraguai no Brasil e a sua inundação no período chuvoso advém das cheias do Rio Paraguai e seus afluentes. Nas épocas de estiagem formam-se as pastagens naturais, circunstância que favorece a ocupação para a criação do gado, uma das principais atividades econômicas do Pantanal (ALVES, 2015, p.23).

O padrão espacial e temporal das cheias no Pantanal dependem das estações do ano, das distribuições da precipitação, da forma de drenagem e da planície de inundação (PAZ et al., 2011, p.1.499). Assim, a regularidade desse padrão é a responsável por manter a estrutura e o funcionamento das áreas alagadas do Pantanal, o ciclo produtivo dos peixes, o crescimento da vegetação e o processo de migração dos animais, bem como a rotina dos pantaneiros nas suas mais diversas atividades, como a pecuária, a pesca e o turismo (MORAES et al., 2013, p. 7.216).

Neste contexto, as alterações do uso e cobertura da terra são responsáveis por provo-

carem variações no balanço de energia e, por conseguinte, alterações climáticas globais e regionais. Assim, essas alterações podem interferir no ciclo hidrológico e modificar a duração, a intensidade e a frequência das estações chuvosas da Bacia do Alto Paraguai e, consequentemente, a água que drena o bioma Pantanal (PEREIRA et al., 2012, p.90).

Desta forma, os parâmetros meteorológicos (principalmente as chuvas) podem ser considerados como precursores para o entendimento de outros componentes hidrológicos do ciclo da água (vazão do rio, vazão do lençol freático, armazenamento do reservatório, etc.). Assim, um dos principais desafios consiste na obtenção do registro climático confiável do total de precipitação proveniente de estações pluviométricas disponíveis na área de interesse, particularmente em países em desenvolvimento onde o número de estação disponíveis são escassas. Para enfrentar esses desafios, os produtos de precipitação por satélite estão sendo utilizados cada vez mais, tanto em escala regional quanto em escala global. A principal vantagem desses produtos são os resultados satisfatórios em termos de cobertura espacial e temporal, provando sua aplicabilidade em estudos climáticos e hidrológicos (BAYISSA et al., 2017, p.10).

Um exemplo é o produto Climate Harzards Group InfraRed Precipitation (CHIRPS), criado em colaboração com cientistas do Centro de Observação e Ciência de Recursos Terrestres do USGS (EROS) e pelo Grupo de Riscos Climáticos da Universidade da Califórnia, Santa Barbara (UCSB). Inicialmente, este produto foi originado com a finalidade de fornecer conjuntos de dados que permitiam análise de tendências e monitoramento sazonal de secas para regiões do continente africano. Mais recentemente, novos recursos de observações de satélite, como estimativas de precipitação baseadas em satélites da NASA e NOAA, foram aproveitadas para disponibilizar dados climatológicos de precipitação em alta resolução (0,05 °), tornando-se assim, uma técnica essencial na produção de dados desde 1981 até o presente.

Na literatura internacional, encontram-se importantes trabalhos de validação de produtos que fornecem dados de precipitação, como, por exemplo, Zambrano et al. (2017) e Toté et al. (2015).

Zambrano et al. (2017 p.30) avaliou três produtos de precipitação baseados em satélites com resoluções espaciais variáveis (0,05 ° e 0,25 °) e registros de dados históricos estendidos (variando de 18 a 30 anos) quanto à precisão da estimativa da quantidade e padrões espaciais de precipitação em todo o Chile. O autor avaliou os produtos PERSIANN-CDR e CHIRPS 2.0 (com registro histórico de 30 anos) e o TMPA 3B43 v7 (dados históricos de 17 anos), que fornece dados de precipitação proveniente de estações

para cinco zonas latitudinais. Como resultados, a estatística mensal mostrou que para a zona Norte e Central do Chile as estimativas de precipitação dos dados provenientes do PERSIANN-CDR e CHIRPS 2.0 foram mais precisas durante a estação chuvosa de ambas as regiões. Na zona sul o PERSIANN-CDR apresentou o menor ajuste, isto é, subestimou muito as chuvas e o maior ajuste foi alcançado pelo CHIRPS 2.0 e TMPA 3B43 v7, durante o ano. Desta forma, o conjunto de dados de precipitação CHIRPS 2.0 foi considerado um conjunto de dados muito útil para caracterizar padrões de precipitação em todo o Chile, pois forneceu uma fonte de dados valiosa para calcular um índice de seca com base na precipitação.

Toté et al. (2015 p. 1766), também avaliou e comparou três conjuntos de dados de precipitação por satélite (TARCAT, RFE e CHIRPS) com um conjunto de dados pluviométricos independente fornecido pelo instituto meteorológico moçambicano. A análise utilizou estatísticas de comparação pareada que avaliam o desempenho dos produtos de satélite na estimativa da quantidade de chuva, além de estatísticas de validação categórica que avaliam as capacidades de detecção de chuva.

Os autores verificaram que o produto RFE, que combina imagens que utiliza o canal do infravermelho termal e do micro-ondas, e o produto CHIRPS, que utiliza dados provenientes do infravermelho termal, apresentam um desempenho melhor que o produto TARCAT. Este fato ocorre porque o RFE e o CHIRPS utilizam dados calibrados provenientes de pluviômetros obtidos em tempo real e distribuídos pelo Sistema Global de Telecomunicações (GTS). Entretanto, o produto TARCAT tem o melhor desempenho na detecção de eventos de precipitação em escalas pontuais devido ao grande número de observações provenientes de pluviômetros que são utilizados neste produto. De uma forma geral, todos os três produtos mostram uma superestimativa para valores baixos de precipitação (sendo o CHIRPS o produto que apresenta as maiores superestimativas) e a subestimativa para valores altos de precipitação (sendo o produto TARCAT o que apresenta as maiores subestimativas). Este fato denota que o produto TARCAT demonstra melhor aplicação para o monitoramento de secas enquanto o CHIRPS pode ser melhor utilizado para o monitoramento de inundações.

O regime de precipitação da Bacia do Alto Paraguai é caracterizado por uma forte variabilidade intra e interanual e seu conhecimento é de grande importância, pois dela dependem os mais diversos setores da sociedade, como a economia e o meio ambiente. Uma bacia hidrográfica pode ser considerada como um elemento sistêmico,

onde se efetuam os balanços de entrada provenientes da precipitação e o escoamento por meio do exutório, propiciando o delineamento das bacias e sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos. Neste contexto, a forma de caracterizar a variabilidade de precipitação pluvial é analisar a distribuição dessa variável dentro de uma bacia (BUSTAMANTE-BECERRA et al., 2012, p.2).

Diante do exposto, verifica-se que o monitoramento do comportamento hidrológico é fundamental para a obtenção de dados importantes sobre o dinamismo da inundação do bioma Pantanal, elemento que afeta diretamente toda a biota e o ritmo de vida do Pantaneiro. O conhecimento acerca da variabilidade da precipitação e sua influência na alteração das áreas alagadas permite a análise sobre as alterações ambientais e as implicações diretas nas atividades econômicas dentro da BAP.

Material e Métodos Área de estudo

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) ocupa uma área de aproximadamente 345.000 Km² no território brasileiro, sendo composta principalmente pelo rio Paraguai e seus afluentes: São Lourenço e Cuiabá ao norte e Miranda, Taquari, Coxim e Aquidauana ao sul, além de possuir rios de menores extensões como o Nabileque, Apa e Negro, formando a rede hidrográfica de todo o complexo pantaneiro (SILVA, 2011, p.24)., conforme Figura 1

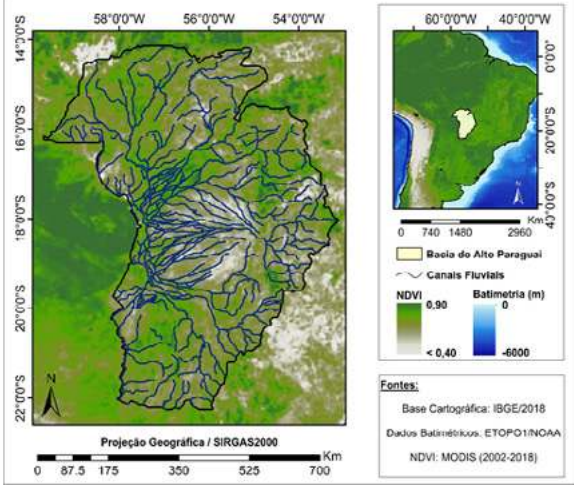

Figura 1: *Rede hidrográfica da Bacia do Alto Paraguai.*

Fonte: elaboração própria

A Bacia do Alto Paraguai encontra-se dividida entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, ocupando 48% e 52% da extensão de cada um, respectivamente (SILVA e CARLINI, 2015 p. 625). Possui três regiões bastante distintas, sendo elas o Planalto, o Pantanal e o Chaco. O Planalto é uma região relativamente alta, com altitudes acima de 200 m, podendo alcançar até 1400 m, situada na região leste da bacia, quase inteiramente em território brasileiro, onde a drenagem se caracteriza por ser bem definida e convergente (ANA, 2006, p.3).

O Pantanal constitui uma vasta superfície rebaixada, com dois aspectos geomorfológicos distintos, ou seja, as planícies e as áreas de acumulação inundáveis. A planície de inundação compreende as planícies fluviais e fluvio-lacustres, relacionando-se, assim, ao rio Paraguai e seus afluentes. As áreas de acumulação inundáveis localizam-se em posição interfluvial, em relação à drenagem (SOUZA et al., 2006, p.7).

Finalmente, o Chaco, situado a oeste da fronteira do Brasil, é uma região baixa onde a precipitação é inferior a 1000 mm por ano e onde há grandes áreas com drenagem endorréica, que encerra em banhados ou lagos, ou sem sistema de drenagem definido (ANA, 2006, p.3).

Segundo a classificação de Köppen, o clima do Pantanal recebe a sigla "Aw", em que a letra "A" corresponde ao clima tropical semiúmido a úmido. A letra "w" relaciona-se ao período seco no inverno, com temperatura média anual entre 22° e 26 C°. Em relação a precipitação, a média anual é de cerca de 1.400 mm, variando entre 800 e 1.600 mm. As maiores chuvas são observadas no planalto. O período de chuvas vai de outubro a abril, concentrando cerca de 70% a 80% da média anual e a temperatura média anual varia 22º e 26ºC. Do ponto de vista fitogeográfico, o Pantanal apresenta um mosaico integrado de paisagens, com influência predominante de cerrados no leste; influência florística da Mata Atlântica a leste; da Amazônia ao norte e do Chaco a oeste. Em determinadas áreas ocorrem fragmentos de caatinga e no planalto predomina o Cerrado (ANA, 2004, p. 53).

Materiais Utilizados Chirps

Os dados do CHIRPS foram adquiridos através do Climate Hazards Group (CHG) da Universidade de Santa Bárbara, que trabalha em estreita colaboração com parceiros como United States Geological Survey (USGS) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA).

O produto proveniente do CHIRPS foi lançado em 1981 através de uma parceria conjunta entre a USGS e a Earth Resources Observation and Science (EROS). O CHIRPS estima as variações de precipitação no espaço e no tempo fornecendo dados confiáveis, atualizados e mais completos para o monitoramento do regime hidrológico (FUNK, 2015, p.4).

As informações coletadas pelo satélite CHIRPS abrangem uma vasta área, compreendida entre 50º N e 50º S. Os dados são fornecidos nos formatos NetCDF, GeoTiff e Esri BIL. As unidades são em milímetros (mm) por período de tempo, por exemplo, mm por dia, mm por pentada (chuva acumulada a cada cinco dias) e mm por mês.

A resolução espacial é de 0,05° x 0,05° (~5 km). O CHIRPS emprega o produto TMPA 3B42 do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) para calibrar as estimativas de precipitação através dos dados de nuvens (cold cloud duration – CCD), além disso, o produto incorpora dados de precipitação de satélites geoestacionários quase-globais do CPC e do Sistema Nacional de Previsão Climática versão 2 (CFSv2) e observações de precipitação in situ (BAYISSA et al., 2017, p.2).

Procedimentos Metodológicos Análise dos dados chirps e criação da máscara espacial

Para caracterizar a variabilidade mensal, diária e as anomalias da precipitação na Bacia do Alto Paraguai (BAP), assim como, representar espacialmente a distribuição da precipitação, utilizaram-se os dados do CHIRPS através de um recorte espacial, delimitado pela BAP. No GRADS, a função maskout permite analisar apenas as áreas de interesse, porém, é necessária uma matriz de dados da região de interesse (máscara espacial). Para a confecção da máscara, o shapefile das sub-bacias disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA) foi importado para o SPRING. Nesta etapa, é importante que a grade de pontos gerada no SPRING possua compatibilidade com os dados do CHIRPS, em formato binário, ou seja, deve haver uma coincidência em todos os atributos. Para isso, o projeto no SPRING foi delimitado de maneira que ambos os dados possuíssem as mesmas dimensões espaciais, número de pontos e tamanho de pixel.

Após a definição das características do projeto, criou-se uma categoria temática para a associação do polígono pertencente a BAP e, em seguida, converteu-se a classe temática para matriz com resolução de 0,05º (resolução espacial do CHIRPS). Assim, o procedimento resultou em uma grade binária de exata dimensão da BAP. Por fim, os

dados binários foram inseridos no aplicativo GRADS, a partir da criação de um arquivo descritor, e as informações relacionadas às precipitações desta área, como a média mensal e a anomalia anual, foram extraídas.

Diagnóstico do início e cessação dos regimes anuais de precipitação

O regime de precipitação do Pantanal é caracterizado por uma forte variabilidade intra e interanual. Conhecer o regime de precipitação é de grande importância, pois dela dependem os mais diversos setores da sociedade, como a economia, o meio ambiente e a sociedade. Neste contexto, a forma de caracterizar a variabilidade de precipitação pluvial é analisar a distribuição dessa variável (BUSTAMANTE-BECERRA et al., 2012 p.2).

Os episódios plurianuais secos e úmidos afetam consideravelmente o bioma Pantanal e possuem desdobramentos na dinâmica ambiental. Para compreender a sazonalidade dos períodos de cheias e secas ao longo dos anos, o estudo detalhado do início, da cessação e do comprimento da estação chuvosa, que são as variáveis responsáveis por descrever o regime de precipitação de uma determinada região, são ferramentas de extrema importância para o acompanhamento dos impactos causados pelo excesso ou ausência prolongada de chuvas (ZHANG et al., 2017 p. 428).

Entre as análises do regime de precipitação, pode-se citar o início e fim da estação chuvosa (DUNNING et al., 2016 p. 11.408). O método utilizado para determinar o início e a cessação do regime anual é descrito em Liebmann et al. (2012 p. 4.306). Para as estimativas do início e término da estação chuvosa estima-se a precipitação média para cada um dos dias do ano (Qi), em que i correspondente ao período de 1º de julho a 30 de junho de cada ano, e a precipitação diária acumulada (Q□). A partir desta, é encontrada a anomalia de precipitação diária cumulativa para determinado dia (d), denominado de "C" ("d"), conforme pode ser visualizado na Equação 5.2 em que i representa os dias do ano.

$$C(d) = \sum_{i=1}^{d} Q_i - \bar{Q} \qquad (5.2)$$

em que o dia do mínimo valor em C marca o início da estação chuvosa, e o valor máximo o final da estação chuvosa. Os dados de precipitação foram adquiridos no sítio

eletrônico ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRP/, através de um Protocolo de Transferência de Arquivos (FTP). Os dados globais, em formato NetCDF e com resolução temporal mensal para os anos de 1999 a 2017 foram transformados em binários através de um script em IDL.

Assim, os dados provenientes do CHIRPS foram inseridos no aplicativo GrADS, que é uma ferramenta interativa usada para facilitar o acesso, manipulação e visualização de dados de climatológicos da precipitação que atingiu a área da BAP, dentre eles citam-se a média e a precipitação acumulada que possibilitou a geração dos histogramas da precipitação (mm) englobando os dados de frequência acumulada anuais de 2000 a 2016 e os gráficos com os resultados foram originados no programa Excel.

Resultados e discussões

Os dados de precipitação mensal extraídos do CHIRPS possibilitaram avaliar a dinâmica de precipitação da BAP, de junho de 1999 a julho de 2016. Através desses dados, obteve-se a climatologia mensal da precipitação incidente na Bacia e a representação de seu comportamento, através de um gráfico de boxplot, como mostra a Figura 2.

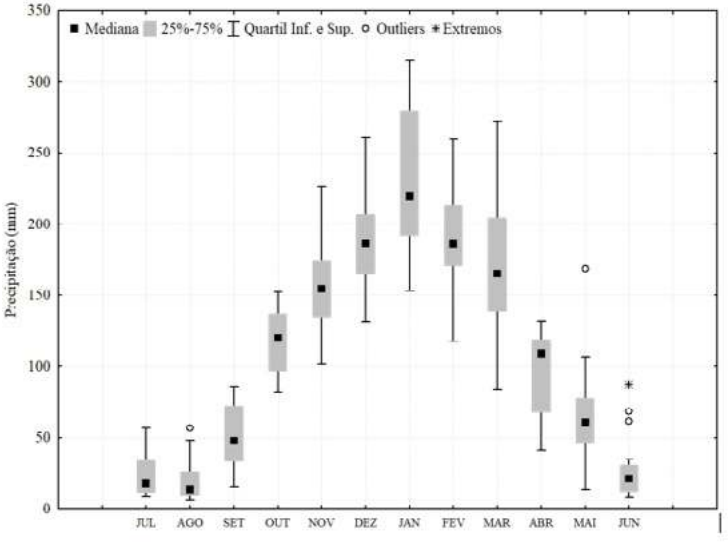

Figura 2: Box-plot da precipitação mensal do Bioma Pantanal para o período de julho de 1999 a junhode 2017.

Fonte: elaboração própria

Através da distribuição da mediana, observa-se que a variabilidade mensal da precipitação é condizente com o esperado, ou seja, maior variabilidade no período úmido e menor no período seco. Também foi possível identificar os meses com valores atípicos (outliers) muito superiores aos demais índices dos meses de sua ocorrência, como por exemplo, os extremos ocorridos nos meses de junho de 2013 e maio de 2014, cujos valores de precipitação foram, respectivamente, 214% e 159% acima da média mensal. Os outros outliers ocorreram em agosto de 2000 e junho de 2012 e 2016, cujos referentes índices de precipitação foram 142%, 123% e 146% superiores às suas respectivas médias.

O valor médio da precipitação que atingiu a BAP durante 17 anos analisados foi de 1.308 mm, e como é possível perceber, 74,54% da precipitação anual incidente ocorrem na estação úmida, o que representa 1053 mm de chuva, enquanto que, na estação seca, a incidência de precipitação é de 281,89 mm.

Através dos dados de precipitação total mensal na BAP e da duração da estação chuvosa, analisaram-se as relações deste fenômeno meteorológico com as áreas alagadas estimadas através de mapas anuais de áreas alagadas para o pantanal no período de 2000 a 2016, conforme pode ser visto em Ramos (2018 p. 47), como podem ser visualizadas na Figura 3.

Figura 3. Análise estatística entre a área alagada e os dados da estação chuvosa da BAP (O = Outubro; N = Novembro; D = Dezembro; J = Janeiro; F = Fevereiro; M = Março; A = Abril; MA = Maio). Casos não significativos ($p<0,05$, teste t-Student) em vermelho.

DADOS DA ESTAÇÃO CHUVOSA	COEFICIENTE LINEAR DE DETERMINAÇÃO (R2)	CORRELAÇÃO
Comprimento da estação	0,07	-0,26
Precipitação Total	0,34	0,58
O/N	0,02	0,15
D/J	0,13	0,36
F/M	0,38	0,62
A/MA	0,05	-0,23
N/D	0,03	0,16

J/F	0,50	0,71
M/A	0,22	0,47
O/N/D	0,01	0,12
J/F/M	0,61	0,78
N/D/J	0,16	0,40
F/M/A	0,36	0,60
O/N/D/J	0,11	0,33
N/D/J/F	0,45	0,67
D/J/F/M	0,56	0,75
J/F/M/A	0,69	0,83
O/N/D/J/F/M	0,66	0,81

Fonte: elaboração própria

Para explicar a relação entre as variações das áreas alagadas anuais com os dados de precipitação que ocorrem na BAP, optou-se por analisar o total de precipitação em bimestres, trimestres, quadrimestres e semestres, assim como, o comprimento da estação chuvosa. Desta forma, ao analisar o comprimento da estação chuvosa e sua influência na variação da área alagada, nota-se que apenas 7% das variações na área alagada podem ser explicadas por esta variável, o que permite concluir que o comprimento da estação chuvosa é considerado uma informação auxiliar na explicação de alguns eventos que influenciam a área alagada total, mas que esta variável não pode ser associada com as áreas alagadas.

Das análises realizadas, os dados bimestrais O/N, D/J, A/MA, N/D, e M/A; os dados trimestrais O/N/D e N/D/J; e o dado quadrimestral O/N/D/J não apresentam significância estatística ($p<0,05$, teste t-student), permitindo concluir que não há uma relação entre estas variáveis e a área alagada. Entretanto, os bimestres J/F e F/M apresentam uma correlação de 0,71 e 0,62, respectivamente, explicando em até 50% as variações das áreas alagadas no bioma.

Ao analisar trimestralmente, nota-se que O/N/D apresentou uma fraca correlação (0,12, não-significativa), explicando apenas 1% das áreas alagadas, porém, o trimestre

de J/F/M apresentou uma correlação moderada, isto é, de 0,78, explicando em até 61% as variações das áreas alagadas. Este aumento pode ser explicado pela inclusão do mês de março, que faz parte da estação chuvosa.

Ao verificar os quadrimestres O/N/D/J e N/D/J/F, observa-se de fraca a moderada correlação (0,33 e 0,67), explicando apenas 11% e 45% das áreas alagadas do bioma. Os quadrimestres D/J/F/M e J/F/M/A apresentam moderada e forte correlação, isto é, 0,75 e 0,83, explicando 56% e 69% das áreas alagadas, respectivamente. A elevada correlação encontrada no quadrimestre de J/F/M/A pode ser explicada pela inclusão do mês de abril, uma vez que o trimestre J/F/M explicam 61% das áreas alagadas, e quando se inclui o mês de abril essa correlação aumenta 8%.

Os dados da variável semestral O/N/D/J/F/M apresentou forte correlação, isto é, 0,81 explicando 66% das áreas alagadas, fator este que é justificado por ser o período que contempla todos os meses estação chuvosa. Dessa forma, percebe-se que a análise trimestral, juntamente com a quadrimestral, apresentou forte correlação. Na análise semestral, nota-se que a correlação é inferior em relação aos quatro meses iniciais. Assim, conclui-se que a precipitação presente durante o quadrimestre J/F/M/A é a variável mais importante para explicar a área alagada do bioma Pantanal, representando os meses finais da estação chuvosa, indicando que a precipitação que atinge o primeiro trimestre é absorvida pelo solo seco e poroso, além da infiltração desta para os lençóis subterrâneos. Acrescenta-se a essa variável o fato de que em muitos anos ocorreram chuvas significativas no ano anterior (novembro a dezembro) e isto impactou consideravelmente o percentual de área alagada do ano seguinte.

Como a maior correlação para explicar a inundação do bioma Pantanal encontra-se em J/F/M/A, optou-se por uma análise das anomalias deste período. As Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 mostram os comportamentos das anomalias das precipitações quadrimestrais nos anos de 2000 a 2016, sendo possível observar a variabilidade espacial das chuvas da BAP que, segundo Araújo et al. (2016, p. 445), possui forte influência do clima sul-amazônico na parte setentrional do Pantanal, somado ao gradiente de escoamento da precipitação nos sentidos norte-sul e leste-oeste, em direção à área mais deprimida da Planície em decorrência do gradiente topográfico. A precipitação foi relacionada com a média da área da bacia, ou seja, quando se diz que a precipitação foi 60 mm maior que a média, refere-se à precipitação média do mês para a área da BAP quando comparada com a precipitação média para 1981-2017 da mesma área.

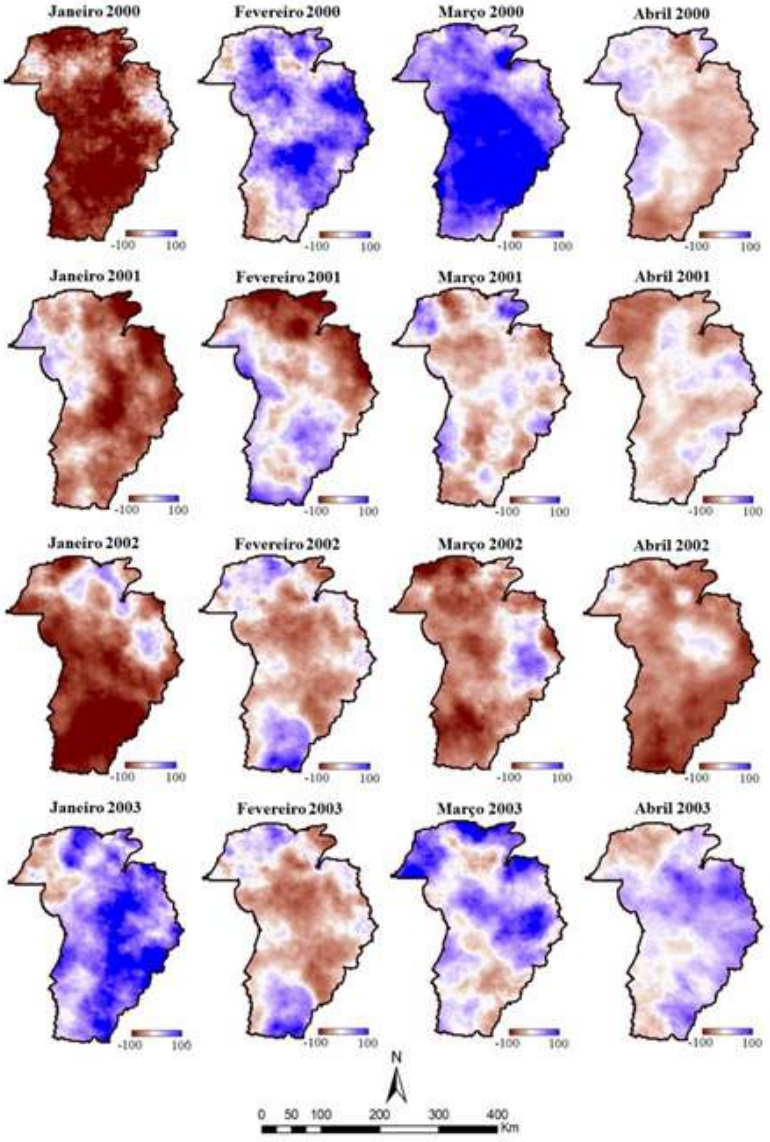

Figura 4: Anomalias das precipitações ocorrida nos quatro meses (JFMA) da BAP nos anos de 2000 a 2003.
Fonte: elaboração própria

De uma forma geral, pode-se notar que no ano 2000 a ocorrência significativa das chuvas efetuou-se nos meses de fevereiro e março, isto é, 42% acima da média desse bimestre para os anos analisados, contribuindo para o alagamento de uma extensa área do bioma. Nota-se que em janeiro a precipitação média foi 70% inferior à média de 31 anos. No período analisado, 2000 foi o 7º ano com a maior área alagada, com aproximadamente 32.200 km², apresentando 4.311 km² de área alagada acima da média de todo o período, que compreende a 21% de toda a área do Pantanal. Além disso, é importante perceber que exceto o mês de março, grande parte da precipitação que atingiu a BAP não está situada na área de planície, mas sim na área de planalto, em que parcela desse volume é interceptada pelas plantações no planalto, fazendo com que boa parte da água não atinja a planície.

Coutinho et al. (2016, p. 625), ao mapear a dinâmica das áreas de agricultura anual e das áreas de produção de cana-de-açúcar no período compreendido entre os anos safra de 2001 e 2013 dentro da BAP, demonstrou que em 2001 as áreas agrícolas para a produção de grãos e de cana-de-açúcar apresentavam uma forte polarização territorial e cada uma ocupava uma região específica e bem delimitada no planalto da BAP, no entanto em 2013 percebeu-se uma significativa expansão das suas áreas de produção. Ou seja, em 2001, enquanto 50% da área de produção de cana-de-açúcar estavam fortemente concentradas na porção norte do planalto da BAP, no Estado de Mato Grosso, a área mais importante de produção de grãos, responsável por 50% da área plantada, estava concentrada na porção leste do planalto. Em 2013 nota-se uma disseminação dessas atividades pela região nordeste do planalto da BAP, bem como o surgimento de focos mais importantes em sua porção sul. Tais fatores demonstram que a chuva que atinge a região de planalto não tem sua efetiva drenagem para a área de planície.

Em 2001 é possível perceber anomalias negativas nos meses de janeiro, fevereiro e abril, ou seja, uma redução do volume de chuva de 33 mm, 13 mm e 23 mm, (17%, 8% e 28% abaixo da média para os meses analisados). O ano de 2001 foi o 13º ano que mais alagou, com cerca de 23.000 km² e 5.154 km² abaixo da média para o período, que compreende a 19% de toda a área do Pantanal.

No ano de 2002 verifica-se que os meses de janeiro, março e abril foram períodos assinalados por anomalias negativas, ou seja, uma redução de 49 mm, 23 mm e 52 mm (77%, 85% e 54% abaixo da média). A ocorrência significativa das chuvas efetuou-se no mês de fevereiro com um acréscimo de 51 mm, ou 28% acima da média. O ano de 2002 foi o 6º ano que mais alagou, com aproximadamente 32.000 km² e 4.311 km² acima da média

para o período, que compreende a 22% de toda a área do Pantanal. Ressalta-se que em 2002 houve uma precipitação acentuada nos meses de outubro e novembro referente a 95 mm e 106 mm, respectivamente.

Em 2003 observa-se que o mês de janeiro apresentou grande volume de chuvas com um total de 60mm acima da média, isto é, 27% maior, diferente de fevereiro que apresentou anomalia negativa em praticamente toda a área do bioma, em que a precipitação média foi 95% inferior. O ano de 2003 foi o 9º que mais alagou, atingindo uma área de aproximadamente 29.000 km², valor médio para o bioma, ou seja, 19,29% de toda a área do Pantanal.

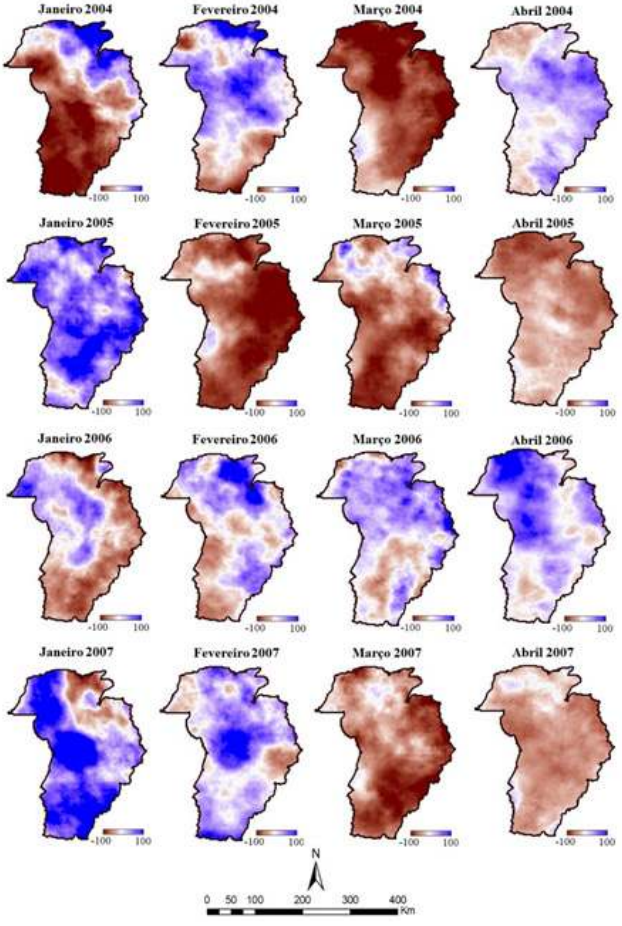

Figura 5: Anomalias das precipitações ocorrida nos quatro meses (JFMA) da BAP nos anos de 2004 a 2007.

Fonte: elaboração própria

No ano de 2004 as chuvas ocorreram nos meses de fevereiro e abril com valores positivos de 23 mm e 5mm, isto é, 12% e 4% acima da média para os anos analisados. Os meses de janeiro e março apresentaram anomalia negativa, 9% e 35% abaixo da média. No período analisado, 2004 foi o 11º ano com a maior área alagada, com aproximadamente 28.600 km² e 353 km² de área alagada abaixo da média do período, que compreende a 17% de toda a área do Pantanal.

No ano de 2005 verifica-se que a ocorrência significativa da precipitação se encontra no mês de janeiro, com 32% acima da média, seguido de anomalias negativas nos meses posteriores (F/M/A), com 8%, 22% e 21% abaixo da média. O ano de 2005 apresentou uma diminuição da área alagada, ocupando a 14º posição, com aproximadamente 20.000 km² e 8.962 km² abaixo da média para o período, que compreende a 13% de toda a área do Pantanal. O ano de 2006 foi marcado pela ocorrência de anomalias positivas de precipitação, principalmente nos meses de fevereiro a abril, com 8% e 21% mm respectivamente. O ano de 2006 foi o 2º ano com a maior área alagada, com aproximadamente 36.855 km², 7.857 km² de área alagada acima da média do período (25% de toda a área do Pantanal).

Em 2007 observa-se a ocorrência significativa de pluviosidade nos meses de janeiro e fevereiro, isto é, 70 mm e 31 mm superior, representando um percentual de 32% e 17% acima da média. Ao contrário, março e abril apresentaram anomalias negativas de 22% e 39%. O ano de 2007 foi o 4º ano com a maior área alagada, com aproximadamente 33.722 km², 4.724 km² de área alagada acima da média do período, que compreende a 22% de toda a área do Pantanal. Conforme imagem na próxima página.

No ano de 2008 constata-se anomalia positiva de pluviosidade no mês de janeiro (43%). O ano de 2008 foi o 3º ano com a maior área alagada, com aproximadamente 36.414 km² e 7.416 km² de área alagada acima da média do período. O ano de 2009 foi marcado com anomalias negativas, sendo o 15º ano com a maior área alagada, com aproximadamente 19.544 km² e 9.454 km² de área alagada abaixo da média do período. No ano de 2010, a maior ocorrência das chuvas ocorreu em janeiro, embora não tão significativa, apenas 1,5% acima da média. Com baixa precipitação, este ano foi o 12º com a maior área alagada, com aproximadamente 24.000 km² e 4.593 km² de área alagada abaixo da média do período, que compreende a 16% de toda a área do Pantanal.

Em 2011 os elevados índices de pluviosidades ocorreram nos meses de janeiro a março, em que a precipitação foi 59 mm, 77mm e 109 mm superiores à média, atingindo os valores percentuais de 27%, 42% e 67%. O ano de 2011 foi o ano com a maior área alagada, com aproximadamente 46.620 km² e 16.662 km² de área alagada acima da média do período,

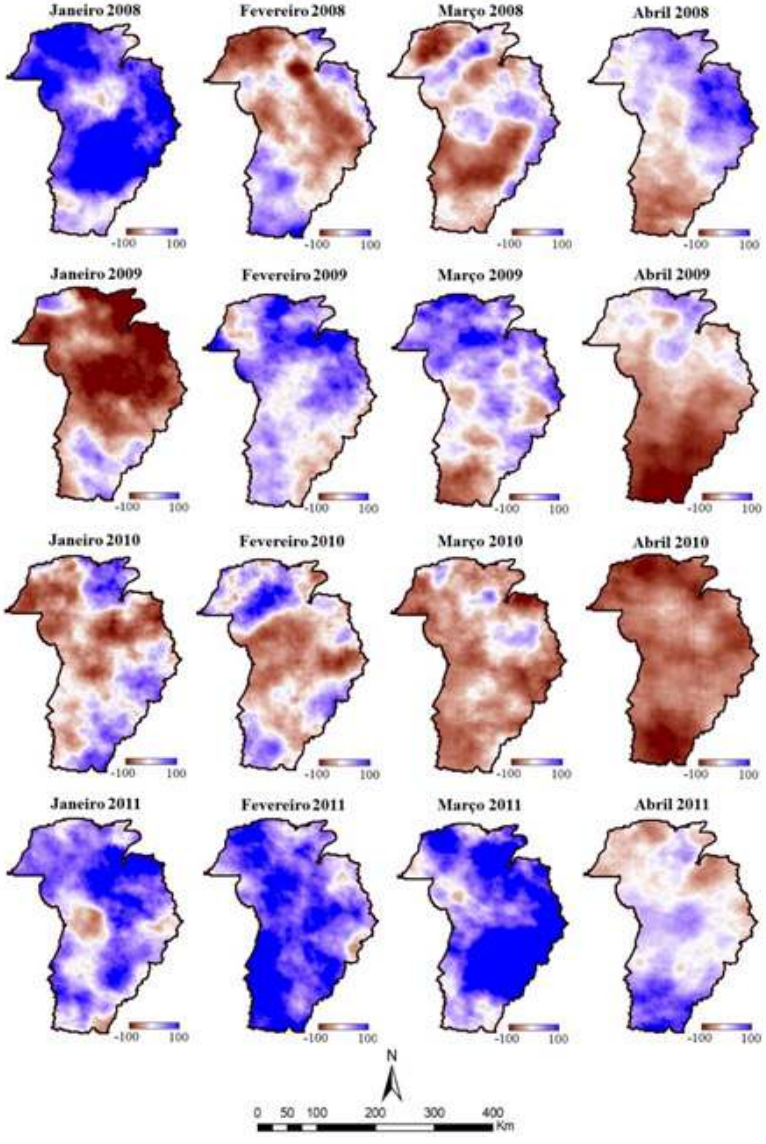

Figura 6: Anomalias das precipitações ocorrida nos quatro meses (JFMA) da BAP nos anos de 2008 a 2011.
Fonte: elaboração própria

que compreende a 30% de toda a área do Pantanal, uma anomalia de 157% em relação à média. Em contrapartida, no ano de 2012 nota-se uma redução da precipitação anual de 90% quando comparada a 2011, e a ocorrência significativa das chuvas efetuou-se no mês de abril, cujo volume foi de apenas 11 mm ou 10% acima da média.

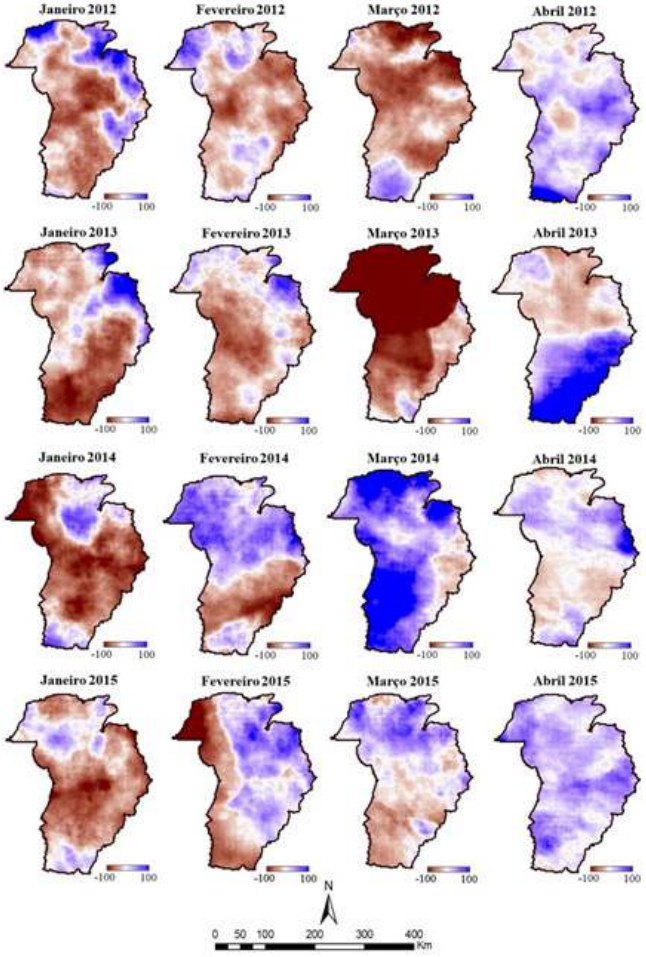

Figura 7: Anomalias das precipitações ocorrida nos quatro meses (JFMA) da BAP nos anos de 2012 a 2015.
Fonte: elaboração própria.

O ano de 2012 foi o 17º ano com a maior área alagada, ou seja, ano com menor percentual de área inundada, visto que além da baixa quantidade do volume de chuva, boa parte da precipitação ocorreu na região norte da BAP, na região de planalto inundando uma área com aproximadamente 14.136 km² e 14.862 km² abaixo da média do período, com apenas 9% do Pantanal alagado. De acordo com o boletim de prognóstico climático – PROGCLIMA (2011, p.1) elaborado em parceria entre o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), foi possível verificar os principais eventos climatológicos previsto para o trimestre J/F/M do ano de 2012. Neste prognóstico foi possível encontrar dados sobre as consequências da atuação de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a formação de vórtices ciclônicos nos altos níveis da atmosfera, fatores que contribuíram para um padrão de chuvas acima do normal na parte central e norte do Brasil e, por outro lado, chuvas abaixo da média sobre grande parte das regiões Centro-Oeste e Sudeste e em praticamente em todo o Sul do Brasil. Sugere-se que o mapeamento deste ano não corresponda as áreas alagadas, mas sim as áreas que são permanentemente inundadas do bioma.

No ano de 2013 a maior ocorrência da precipitação ocorreu no mês de abril, com um índice de 22 mm superior à média, isto é, 21%. Nos meses de janeiro a março é possível perceber anomalias negativas, com destaque para o mês de março, em que a redução foi de 78 mm ou 48% abaixo da média. O ano de 2013 foi o 16º ano com a maior área alagada, com aproximadamente 17.568 km² e 11.430 km² abaixo da média. É possível perceber que de janeiro a março as regiões que tiveram precipitação acima da média estão situadas na porção nordeste da BAP e grande parte da planície apresentaram precipitação abaixo da média, fato que sugere que o que foi mapeado neste ano, assim como em 2012, seriam as áreas inundadas permanentemente, com lençóis freáticos oscilando abaixo do normal.

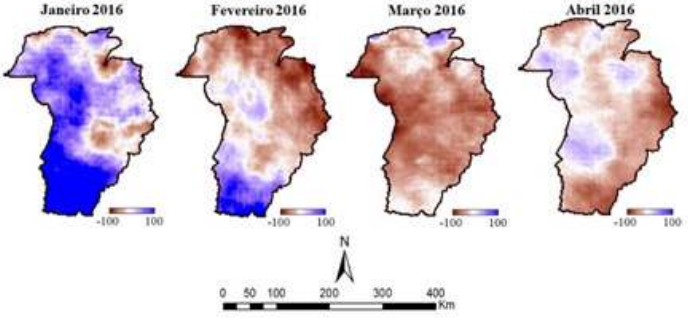

Figura 8: Anomalias das precipitações ocorrida nos quatro meses (JFMA) da BAP no ano de 2016.

Fonte: elaboração própria.

Em 2014, a ocorrência significativa das chuvas situou nos meses de fevereiro e março, em que os índices pluviométricos foram de 13 mm e 83 mm superiores, isto é, 7% e 51%. Em janeiro, nota-se anomalias negativas de 27 mm ou 12% da precipitação abaixo da média. O ano de 2014 foi o 10º ano com a maior área alagada, com aproximadamente 28.645 km² e 353 km² de área alagada acima da média do período. Em 2015 a maior ocorrência da precipitação aconteceu nos meses março e abril, em que o volume da pluviosidade foi de 21 mm e 18 mm, ou seja, 13% e 17% acima da média. Em janeiro verifica-se uma redução da precipitação de 7% abaixo da média. O ano de 2015 foi o 8º ano com a maior área alagada, com aproximadamente 29.801 km² e 803 km² de área alagada acima da média do período. O ano de 2016, cujo mês de maior concentração de chuva foi janeiro, em que os índices pluviométricos foram 60 mm superiores, foi o 5º ano com a maior área alagada, com aproximadamente 33.260 km² e 4.262 km² acima da média do período, ou uma variação de 22%.

Conclusão

A inundação do Pantanal propicia, a cada ciclo da estação chuvosa, paisagens diversas, alterando e determinando o ritmo de vida do Pantaneiro, que precisa se adequar aos contratempos que surgem a cada ano, dado que grande parte dos habitantes da região estão ligados às atividades agropecuárias e ao turismo.

Esse processo está relacionado ao fluxo de água que escoa dentro da BAP, e através dos dados provenientes do CHIRPS foi possível a identificação do início, cessação e duração da estação chuvosa; quantidade de precipitação sazonal; número de dias chuvosos; intensidade e frequência de eventos de precipitação e as características das anomalias de precipitação incidente na Bacia do Alto Paraguai.

Ao analisar a variabilidade das áreas alagadas, constatou-se que o ano que mais alagou foi 2011, com cerca de 45.000 km², seguido dos anos 2006 e 2008, com aproximadamente 36.000 km², ou seja, cerca de 30% e 24% da área total do bioma Pantanal, respectivamente. Os anos que apresentaram uma menor área alagada foram 2012, 2013 e 2005 com aproximadamente 14.000 km², 17.000 km² e 20.000 km², o que corresponde a 9%, 11% e 13%, respectivamente, da área total do Bioma.

Nos anos que mais alagaram foi possível perceber que os elevados índices pluviométricos que atingiram a BAP ocorreram nos meses de março e abril, diferentemente dos

outros anos. Sugere que as chuvas dos meses anteriores e as fortes chuvas nos meses subsequentes (março/abril) geraram uma sobrecarga hídrica e consequentemente um maior alagamento dessas áreas. Já nos anos com os menores percentuais de áreas alagadas observou-se que em geral os índices de pluviosidade além de menores, uma menor concentração destes nos meses de março e abril, isto é, situação oposta constatada nos anos de maior alagamento.

Os resultados alcançados podem auxiliar o entendimento acerca das modificações ocasionadas no comportamento hidrológico da estação chuvosa da BAP e, consequentemente, no Bioma Pantanal. Tais estudos tem se destacado recentemente em decorrência da crise hídrica no centro-sul o país, que resultou também em uma preocupação com a proteção dos recursos hídricos brasileiros. Neste contexto, as áreas úmidas apresentam um papel importante dentro do ciclo hidrológico, e são recursos significativos para a economia, sociedade e para a manutenção da biodiversidade. Ainda, sugere-se a utilização deste estudo como uma ferramenta para auxiliar o poder público na ordenação do crescimento urbano, na definição de políticas para a ocupação das áreas de riscos, no zoneamento econômico e na manutenção do ecossistema a partir da preservação ambiental de áreas úmidas.

Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **Implementação de práticas de gerenciamento integrado de bacia hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai: relatório final**. Brasília, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) (ANA). **Boletim de monitoramento da Bacia do Alto Paraguai.** Superintendência de Usos Múltiplos. Brasília, 2006.

ALVES, G. B. M. **Efeitos da inundação sobre o manejo da pecuária no pantanal norte com emprego de imagens orbitais.** 2015. 94p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Mato Grosso.

ARAUJO, A. G. J.; SILVA, L. T.; SANTOS, L. B. L.; SILVA, B. M. M.; OLIVEIRA, G. S.; PARRAGA, G. O. O.; MONTEIRO, A. M. V.; LEMES, M. C. R.; PRADO, M. L.; RODRIGUEZ, D. A. **O fluxo da pecuária de corte no Pantanal Sul: uma análise do trânsito de**

bovinos investigando a interferência da dinâmica hidro meteorológica da região e o evento extremo - cheia de 2011. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal - 6° Geo-Pantanal, 2016, Cuiabá, MT. Anais 6º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Cuiabá, MT: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 442-452. 2016.

BAYISSA, Y.; TADESSE, T.; DEMISSE, G.; SHIFERAW, A. **Evaluation of satellite-based rainfall estimates and application to monitor meteorological drought for the upper blue Nile basin, Ethiopia.** Remote Sens., v. 9, p. 9 – 669, 2017.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Boletim prognóstico climático para janeiro, fevereiro e março de 2012.** Infoclima, 2011. Disponível em: http://infoclima1.cptec.inpe.br/~rinfo/pdf_progclima/pc1112.pdf. Acesso em 20 de julho de 2017.

BUSTAMANTE-BECERRA, J. A.; CARVALHO, S. M. I. DE; SILVA, E. A. D. DA; RANDOW, C. VON. **Clima e variabilidade interanual da vegetação no pantanal.** Anais... In: XVII Congresso brasileiro de Meteorologia (CBMet), 2012, Gramado – RS, p. 1–6, 2012. Disponível em: http://www.sbmet.org.br/cbmet2012/pdfs/64GW.pdf. Acesso em: 15 de maio de 2018.

COUTINHO, A. C.; BISHOP, C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; KASTENS, J. H.; BROWN, J. C. **Dinâmica da agricultura na Bacia do Alto Paraguai.** Anais... In: VI Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Cuiabá – MT, p. 623 -632, 2016. Disponível em: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1056612/1/GeopantanalCoutinhop623.pdf.

DUNNING C.M.; E. BLACK; R. ALLAN. **The onset and cessation of seasonal rainfall over Africa.** J. Geophys. Res. Atmos. p. 11.404-11.424. 2016.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.;SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J.: **The climate hazards infrared precipitation with stations – a new environmental record for monitoring extremes,** Scientific Data, 2, 150066, doi:10.1038/sdata.2015.66, 2015. Disponível em: pubs.usgs.gov/ds/832/. Acesso em 25 de Maio de 2018.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Biomas e Vegetação.** 2004. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm. Acesso em: 20 maio de 2018.

LIEBMANN, B.; I. BLADÉ.; G. N. KILADIS.; L. M. CARVALHO.; G. B. SENAY, D.;

ALLURED, S.; LEROUX.; C. FUNK.; **Seasonality of African precipitation from 1996 to 2009.** J. Clim., 25(12), 4304–4322. 2012

MORAES, E. C.; PEREIRA, G.; CARDOZO, F. DA S. **Evaluation of reduction of pantanal wetlands in 2012.** Geografia (Rio Claro. Impresso), v. 38, p. 81-93, 2013.

PAZ, A. R. DA; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; PADOVANI, C. R. **Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the pantanal (Brazil).** Hydrological Processes, v. 25, n. 9, p. 1498–1516, 2011.

PEREIRA, G.; CHÁVEZ, E. S.; SILVA, M. E. S. **O estudo das unidades de paisagem do bioma pantanal.** Revista Ambiente & Água, v. 7, p. 89-103, 2012.

RAMOS, R. C. **Análise da influência da estação chuvosa na variabilidade das áreas alagadas do bioma pantanal.** 2018. 97p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de São João del-Rei.

SILVA, R. V. **Uso e ocupação da margem esquerda do rio Paraguai e a percepção ambiental de usuários do município de Cáceres.** 2011. 110p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade do Estado do Mato Grosso. Cáceres, Mato Grosso.

SILVA, J. S. V. da; CARLINI, F. J. **Vegetation cover of the upper Paraguai basin in Mato Grosso do Sul State: comparison between Pantanal wetland and the plateau.** Geografia. Rio Claro. v. 40, Número Especial, p. 211-226. 2015.

SOUZA, C. A; LANI, J. L; SOUSA, J. B. **Origem e evolução do Pantanal Mato-grossense.** In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 6., 2006. Disponível em: http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/aut/articles/132.pdf. Acesso em 3 maio 2018.

TOTÉ, C.; PATRICIO, D.; BOOGAARD, H.; VAN DER WIJNGAART, R.; TARNAVSKY, E.; FUNK, C. **Evaluation of Satellite Rainfall Estimates for Drought and Flood Monitoring in Mozambique.** Remote Sens., v. 7, p. 1758-1776, 2015.

ZAMBRANO F.; WARDLOW B.; TADESSE T.; LILLO-SAAVEDRA M., LAGOS O. **Evaluating satellite-derived long-term historical precipitation datasets for drought monitoring in Chile.** Res. Atmos., v. 186 p. 26-42, 2017.

ZHANG, W.; BRANDT, M.; GUICHARD, F.; TIAN, Q.; FENSHOLT, R. **Using long-term daily satellite based rainfall data (1983–2015) to analyze spatio-temporal changes in the sahelian rainfall regime.** Journal of hydrology, v. 550, p. 427–440, 2017.