



**PANTANAL:
O ESPAÇO GEOGRÁFICO
E AS TECNOLOGIAS
EM ANÁLISE**

**Alan Mario Zuffo
(Organizador)**

Atena
Editora
Ano 2019

Alan Mario Zuffo
(Organizador)

Pantanal: O Espaço Geográfico e as Tecnologias em Análise

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

P197 Pantanal [recurso eletrônico] : o espaço geográfico e as tecnologias em análise / Organizador Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-222-7

DOI 10.22533/at.ed.227192903

1. Biodiversidade. 2. Ecossistemas – Brasil. 3. Pantanal. I. Zuffo, Alan Mario.

CDD 577.0981

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Pantanal O Espaço Geográfico e as Tecnologias em Análises” aborda uma série de capítulos de publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 16 capítulos, conhecimentos tecnológicos do pantanal e suas especificidades.

As Ciências estão globalizadas, englobam, atualmente, diversos campos em termos de pesquisas tecnológicas, dentre eles, o bioma pantanal. Tal bioma, tem característica peculiares, alimentares, culturais, edafoclimáticas, étnicos, entre outros. O bioma pantanal por ser rico em diversidades biológicas, a preservação é necessária para o equilíbrio do meio ambiente.

Vários são os desafios para a conservação do bioma pantanal, entre eles, destacam-se as queimadas e incêndios florestais, o monitoramento da qualidade das águas, o levantamento da distribuição das espécies arbóreas, dentre outras. Portanto, o conhecimento do espaço geográfico e as tecnologias de análise são importantes para garantir a conservação do bioma pantanal.

Este livro traz artigos alinhados com o bioma pantanal e suas especificidades. As transformações tecnológicas desse bioma são possíveis devido o aprimoramento constante, com base em novos conhecimentos científicos.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para o bioma do pantanal, assim, garantir perspectivas de solução para o desenvolvimento local e regional para as futuras gerações de forma sustentável.

Alan Mario Zuffo

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE INCÊNDIO NO PANTANAL (2000-2016)	
<i>Wagner Tolone da Silva Ferreira</i> <i>Leticia Larcher de Carvalho</i> <i>Ângelo Paccelli Cipriano Rabelo</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2271929031	
CAPÍTULO 2	13
ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO BIOMA PANTANAL	
<i>Nickolas Mendes de Matos</i> <i>Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi</i> <i>Fabrcio Assis Leal</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2271929032	
CAPÍTULO 3	24
ANÁLISE QUANTI-QUALITATIVA DOS CASOS DE DOENÇAS TRANSMITIDAS POR VETORES NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL NOS ANOS DE 2015 E 2016	
<i>Adriana Bilar Chaquime dos Santos</i> <i>Orlando Moreira Junior</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2271929033	
CAPÍTULO 4	35
APLICAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO NA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO - GOIÁS	
<i>Victor Tomaz de Oliveira</i> <i>Wellington Nunes de Oliveira</i> <i>Emanoelle Pereira da Silva</i> <i>Elaine Jacob da Silva Carmo</i> <i>Kharen de Araújo Teixeira</i> <i>Hugo José Ribeiro</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2271929034	
CAPÍTULO 5	46
ASPECTOS MORFOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE VERMELHO – MT AFLUENTE DO RIO PARAGUAI SUPERIOR	
<i>Jéssica Ramos de Oliveira</i> <i>Carine Schmitt Gregolin</i> <i>Martins Toledo de Melo</i> <i>Tadeu Miranda de Queiroz</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2271929035	
CAPÍTULO 6	59
BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI POR MEIO DE DADOS TRMM E MOD16A2	
<i>Hudson de Azevedo Macedo</i> <i>José Cândido Stevaux</i>	

Ivan Bergier

Aguinaldo Silva

DOI 10.22533/at.ed.22712903686

CAPÍTULO 7 71

CARTA HIPSOMÉTRICA DO PERÍMETRO URBANO DA CIDADE DE MACAPÁ-AP
UTILIZANDO MODELOS DE ELEVAÇÃO DO TOPODATA E O LAF

Herondino dos Santos Filho

Marcelo José de Oliveira

Darren Norris

DOI 10.22533/at.ed.2271929037

CAPÍTULO 8 83

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE NÚMERO DE DEFLÚVIO (CN) PARA O
PERÍMETRO URBANO DE DOURADOS-MS

Vinícius Silva Rezende

Vinícius de Oliveira Ribeiro

Yani Scatolin Mendes

DOI 10.22533/at.ed.2271929038

CAPÍTULO 9 94

DISTRIBUIÇÃO DA PLUVIOMETRIA, NDVI E UMIDADE DO SOLO NOS BIOMAS
BRASILEIROS

Hugo José Ribeiro

Nilson Clementino Ferreira

Wellington Nunes Oliveira

Victor Tomaz de Oliveira

Kátia Alcione Kopp

DOI 10.22533/at.ed.2271929039

CAPÍTULO 10 107

ESTIMATIVA DA EFICIÊNCIA DO SEQUESTRO DE CARBONO EM VEGETAÇÃO
NATURAL DE UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, USANDO DADOS DE IMAGENS
CBERS-4 EM JARDIM – MS

Adelsom Soares Filho

Maycon Jorge Ulisses Saraiva Farinha

Luciana Virginia Mario Bernardo

Clandio Favarini Ruviaro

DOI 10.22533/at.ed.22719290310

CAPÍTULO 11 119

GEOPROCESSAMENTO APLICADO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: O
CASO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO E DO PANTANAL

Rafael Wendell Barros Forte da Silva

Dálete Maria Lima de Sousa

DOI 10.22533/at.ed.22719290311

CAPÍTULO 12 131

IMPACTOS CLIMÁTICOS DAS EMISSÕES ASSOCIADAS ÀS QUEIMADAS NO

MUNICÍPIO DE CÁCERES-MT

Verônica Martinez de Oliveira Raymundi

Thales Ernildo de Lima

Alfredo Zenen Domínguez González

DOI 10.22533/at.ed.22719290312

CAPÍTULO 13 140

MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS DO PANTANAL
COM PACOTES CLIMÁTICOS DO QUATERNÁRIO

Mariele Ramona Torgeski

Kelvin Felix Barbosa

Alan Sciamarelli

DOI 10.22533/at.ed.22719290313

CAPÍTULO 14 151

PROPOSTA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO
CUIABÁ, COM O USO DE PROCESSOS ESTATÍSTICOS E DE GEOTECNOLOGIA,
PREVENDO POSSÍVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS À REGIÃO DO PANTANAL

Claudionor Alves da Santa Rosa

DOI 10.22533/at.ed.22719290314

CAPÍTULO 15 164

RELAÇÃO SÓLIDOS/TURBIDEZ NO RIO GRANDE VERMELHO - MT: AFLUENTE
DO RIO PARAGUAI NA CABECEIRA DO PANTANAL

Jéssica Ramos de Oliveira

Tadeu Miranda de Queiroz

DOI 10.22533/at.ed.22719290315

CAPÍTULO 16 176

USO DE SENSORES REMOTOS PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE AMOSTRAGEM
EM CAMPO PARA ANÁLISE DA MORFOLOGIA DO RELEVO NO PANTANAL DA
NHECOLÂNDIA

Frederico dos Santos Gradella

Paola Vicentini Boni

Amanda Moreira Braz

Hermiliano Felipe Decco

DOI 10.22533/at.ed.22719290316

SOBRE O ORGANIZADOR..... 187

BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI POR MEIO DE DADOS TRMM E MOD16A2

Hudson de Azevedo Macedo

Universidade Estadual de Maringá–UEM.
Programa de Pós-Graduação em Ecologia de
Ambientes Aquáticos Continentais – PEA.
Maringá-PR.

José Cândido Stevaux

Universidade Estadual de Maringá–UEM.
Programa de Pós-Graduação em Ecologia de
Ambientes Aquáticos Continentais – PEA.
Maringá-PR.
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul –
UFMS.
Campus Três Lagoas – Geografia.
Três Lagoas-MS.

Ivan Bergier

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –
EMBRAPA.
EMBRAPA Pantanal.
Corumbá-MS.

Aguinaldo Silva

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul –
UFMS.
Campus do Pantanal – Geografia.
Corumbá-MS.

RESUMO: O armazenamento de água de uma bacia de drenagem determina sua segurança hídrica. A quantidade de água retida na bacia pode ser medida por meio do cálculo do balanço hídrico, definido pela entrada de água

subtraída das saídas. As medidas de entrada e saída hídrica em uma bacia de drenagem são onerosas, o que torna o uso de dados de sensoriamento remoto uma ferramenta de grande impacto socioeconômico para este fim. Somado a isto, tem-se que estudos de disponibilidade hídrica com sensores orbitais são relativamente escassos para a Bacia do Alto Paraguai (BAP). Dessa forma, a partir do processamento de dados de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e de evapotranspiração do *MODIS Global Evapotranspiration Project* (MOD16), o presente trabalho traz uma estimativa do balanço hídrico da BAP com sensores orbitais. Para tanto, foi criada no ArcGIS 10 uma ferramenta no *ModelBuilder*. Os resultados indicam que a BAP possui um superávit hídrico anual entre 2000 e 2014, muito embora os parâmetros hídricos anuais sejam pouco correlacionados. No entanto, pode haver fenômenos atmosféricos-climáticos que maximizam a correlação entre os parâmetros hidrológicos e a anomalia de temperatura com atrasos de 2 a 5 anos, teleconexões defasadas com QBO e ENSO.

PALAVRAS-CHAVE: hidrologia, Pantanal, processamento de imagens, QBO, ENSO.

ABSTRACT: Water storage in a drainage basin determines its hydric security. The quantity of water retained in the watershed can be measured

by means of the water balance calculation. This balance can be defined by the input of water subtracted from the outputs. However, for the Pantanal, the measurements of water inlet and outlet are expensive, which makes the use of remote sensing data a high impact tool with sharp socioeconomic advantages. Studies of water availability with orbital sensors are relatively scarce in the Upper Paraguay Basin (BAP). Thus, this work is an attempt to estimate the BAP water balance using rainfall and evapotranspiration remote sensing data from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) and the MODIS Global Evapotranspiration Project (MOD16), respectively. For that purpose, a ModelBuilder tool was developed in ArcGIS 10. The results indicate that BAP has an annual surplus of water between 2000 and 2014, but water parameters seem weakly correlated at annual basis. However, there may be atmospheric-climatic phenomena that maximize the correlation between the hydrological parameters and the temperature anomaly with delays of 2 to 5 years, suggesting lagged teleconnections with QBO and ENSO.

KEYWORDS: image processing, hydrology, Pantanal, QBO, ENSO.

1 | INTRODUÇÃO

Mudanças espaço-temporais do balanço hídrico em larga escala determinam a segurança hídrica de bacias hidrográficas. O balanço hídrico é definido pela relação entre influxos de água subtraídos pela água que deixa o sistema. O saldo líquido é expresso por $\Delta S = P - ET - Q_s$ [Eq.1], em que ΔS é a mudança líquida do volume de água armazenado; P é a precipitação (V_{input}); ET é a evapotranspiração (V_{output}); e Q_s é a descarga na saída da bacia (exutório/ H_{output}).

A medição de variáveis de observação terrestre de larga escala é onerosa em bacias hidrográficas devido a dificuldades de acesso e na manutenção de equipamentos. Como resultado, os dados de sensoriamento remoto, via satélite, tornaram-se muito úteis e uma fonte confiável de dados hidrológicos da superfície terrestre. Além disso, várias bacias de drenagem no Brasil têm limitações de dados hidrológicos *in situ* e a maioria dos estudos é realizada apenas em áreas pequenas ou baseadas em abordagens simplificadas (Galdino; Clarke, 1997; Nunes et al., 2016); exceto em recente trabalho, em que todas as estações pluviométricas disponíveis foram usadas para estudar mudanças de longo prazo no Pantanal (Bergier et al., 2018).

Em geral, estudos da hidrologia da Bacia do Alto Paraguai (BAP) contam apenas com medições *in situ* de estações de medição (precipitação, cota e vazão fluvial), sendo a estação fluvial de Ladário a principal referência, já que fornece dados do nível do rio Paraguai de 1900 aos dias atuais. Exemplos de tais estudos são os desenvolvidos por Hamilton et al. (1996), Clarke et al. (2003), Prass et al. (2012) e Bergier (2013). Em outro estudo, o Modelo Linear de Mistura Espectral (Shimabukuro et al., 1998) em imagens de índice de vegetação do MODIS foi desenvolvido para estudar e quantificar a dinâmica de inundação do Pantanal (Padovani, 2010). Outros autores utilizaram

modelos numéricos ou baseados em processos para simular rotas de escoamento e de vazão de água para toda a BAP por meio de interpolação de dados meteorológicos (Bravo et al., 2012; Paz et al., 2014).

Até o momento, poucas pesquisas foram realizadas no intuito de obter o balanço hídrico da BAP utilizando dados orbitais (e.g. Penatti et al., 2015). Sob essas perspectivas, o presente artigo traz novas informações para a compreensão do regime hidrológico da BAP, propondo um novo método de calcular o balanço hídrico, o qual, em linhas gerais, reflete o estado ou condição hidrológica de todo o Pantanal. O objetivo deste trabalho é fornecer, além de o balanço hídrico da bacia, uma ferramenta que auxilie nos cálculos de precipitação e evapotranspiração anual. A proposta é realizar o balanço hídrico (c.f. Eq.1) da bacia de drenagem do rio Paraguai com área de captura determinada em função da estação fluviométrica de Porto Murtinho (Figura 1).

Portanto, objetivo principal deste trabalho é estimar o balanço hídrico anual da bacia de drenagem do rio Paraguai com exutório na estação fluviométrica de Porto Murtinho. O objetivo secundário é apresentar uma nova metodologia para estimar o balanço hídrico com base em dados orbitais de precipitação e evapotranspiração nesta bacia hidrográfica, aqui considera como sendo a BAP.

O BAP tem seu exutório na fronteira entre o Brasil e o Paraguai, possuindo superfície de aproximadamente 600.000 km² em terras do Brasil, Bolívia e Paraguai. No Brasil, ocupa 362.376 km², dos quais 48 % estão no estado do Mato Grosso e 52 % no estado do Mato Grosso do Sul (Silva, 2010). A área da bacia delimitada neste estudo é um pouco menor, já que possui exutório a montante da foz do rio Apa: 583.798,25 km².

Essa bacia possui três regiões bem distintas, o Planalto, o Pantanal e o Chaco (Figura 1). O Planalto é uma região alta com elevação superior a 200 m e pode chegar a 1400 m de altitude. Possui drenagem bem definida e convergente localizada na porção leste e norte do BAP, quase inteiramente em território brasileiro.

O Pantanal é uma região mais baixa, localizada no centro da bacia, onde os rios inundam as planícies e alimentam um complexo sistema de drenagem distributária que inclui milhares de lagos, córregos divergentes e multicanaís (*anabranching*) e áreas de inundação e escoamento sazonais. O Chaco, um sistema de drenagem endorreico ou indefinido que termina em pântanos e lagos, está localizado na fronteira oeste do Brasil e tem uma precipitação anual menor que 1000 mm.

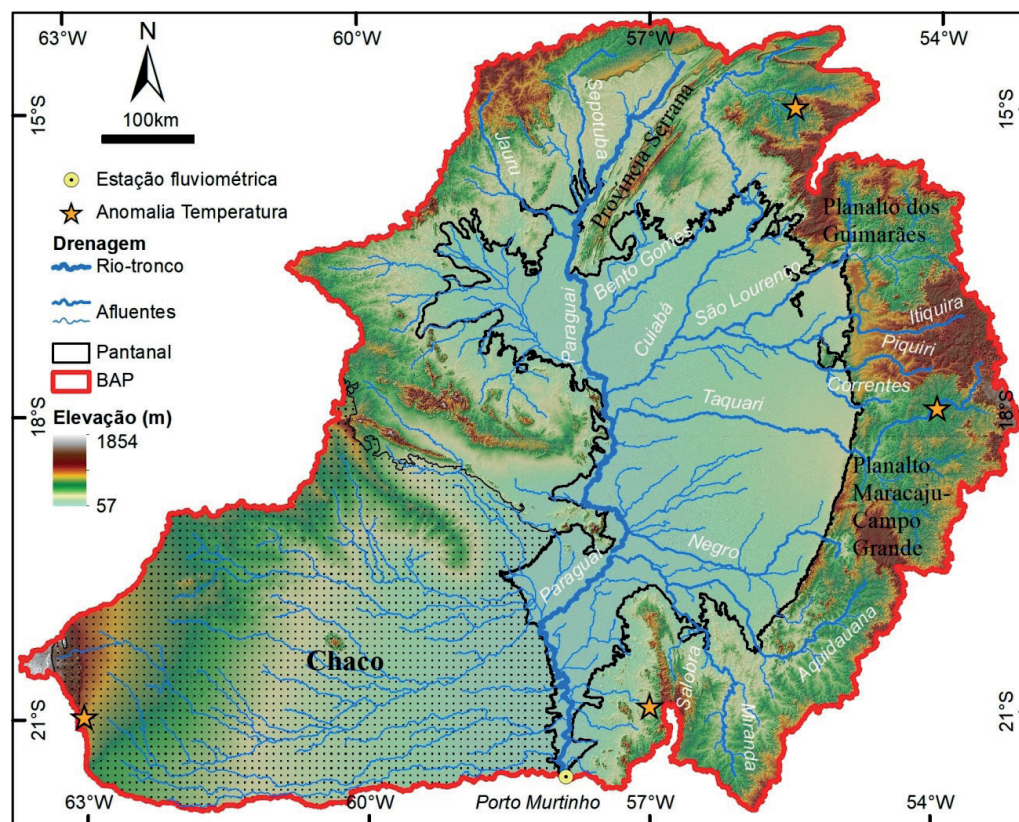


Figura 1 - Bacia de drenagem do rio Paraguai com exutório na estação fluviométrica de Porto Murtinho. Rede de drenagem e limite da bacia obtidos por meio de método automático (ESRI, 2010). Dados de elevação: SRTM 90m. Limites do Pantanal segundo Padovani (2010). Anomalias de temperatura obtidas em NOAA (2018).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho realizamos o balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Paraguai acima da estação fluviométrica de Porto Murtinho com uso de dados de precipitação (V_{input}), evapotranspiração (V_{output}) e descarga fluvial (H_{output}). Dados de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) foram utilizados para computar V_{input} (Huffman et al, 2007). A evapotranspiração na bacia foi estimada por meio de dados MOD16A2 do *Numerical Terradynamic Simulation Group* – NTSG (Mu et al, 2007; Mu et al, 2011; Mu et al, 2013).

A precipitação foi estimada com uso do produto TRMM-3B43, o qual apresenta valores de taxa de precipitação mensal. Dados de taxa de precipitação do produto 3B43 foram convertidos em precipitação acumulada (km^3) por meio da expressão [Eq.2], onde P é a precipitação acumulada em quilômetros cúbicos (km^3); R é a taxa de precipitação dada pelo produto 3B43; D é o número de dias do mês a ser calculado; H é o número de horas que um dia possui (24 horas); A é a área cada pixel do produto 3B43 (tamanho da célula em X vezes tamanho da célula em Y).

Os produtos MOD16A2 do NTSG foram convertidos em km^3 para cada mês em cada ano. Os valores dos pixels foram então integrados para obter a evapotranspiração anual da bacia. Para realização, com sucesso, dos cálculos de balanço hídrico da

BAP, duas ferramentas (modelos) foram desenvolvidas por intermédio do ArcGIS ModelBuilder 10 (ESRI, 2010). Essas ferramentas estão disponíveis para serem utilizadas em outras regiões do mundo (ver Material Suplementar). As Figuras 2 e 3 apresentam uma simplificação do fluxograma das ferramentas e as integrações dos dados que fornecem os mapas de precipitação e evapotranspiração anual.

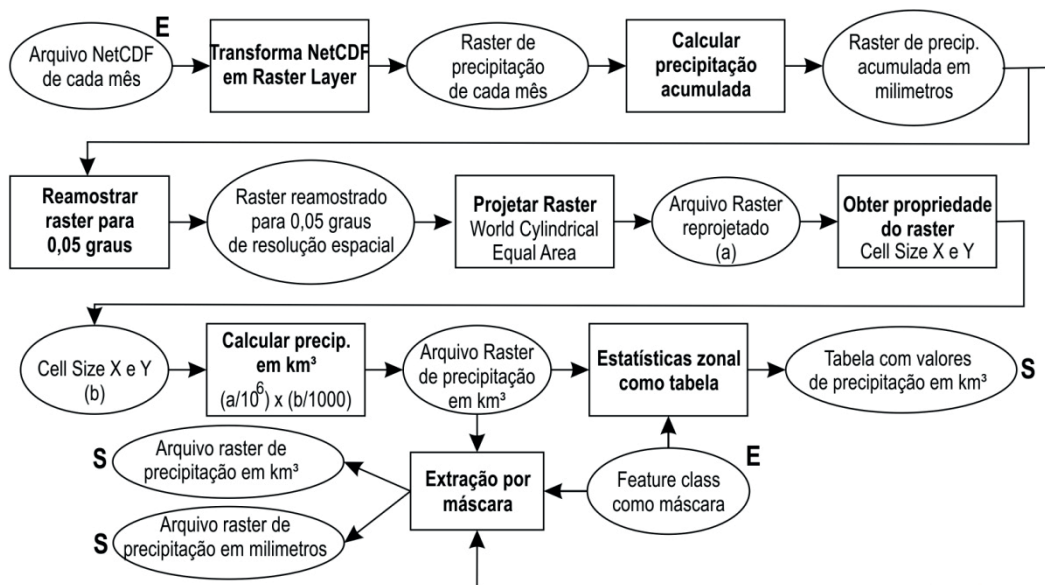


Figura 2 - Fluxograma do modelo para cálculo de precipitação anual. Os retângulos indicam processos e as elipses produtos. As letras “E” e “S” significam parâmetro de entrada e de saída, respectivamente.

A descarga fluvial da bacia (H_{output}) foi determinada com uso dos dados de vazão da estação de Porto Murinho, calculados pela curva-chave disponível no site da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018). Gráficos de descargas médias mensais foram construídos a partir de descargas calculadas na estação. O volume total de saída de água da bacia foi calculado como equivalente à área abaixo da vazão média mensal. Os meses foram transformados em segundos e a área foi calculada pelo método da matriz de Gauss: $Area = \frac{1}{2} |x_1y_2 + x_2y_3 + \dots + x_{n-1}y_n + x_ny_1 - x_2y_1 - x_3y_2 - \dots - x_ny_{n-1} - x_1y_n|$ [Eq.3]; em que x é mês expresso em segundos e y é a vazão expressa em m^3/s .

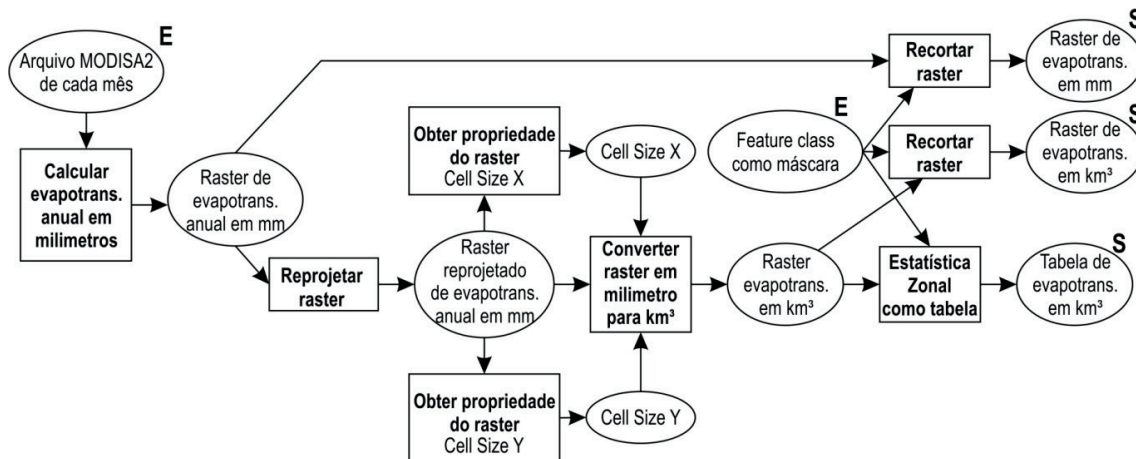


Figura 3 - Fluxograma do modelo de cálculo de evapotranspiração anual. Os retângulos indicam processos e as elipses produtos. As letras “E” e “S” significam parâmetro de entrada e de saída, respectivamente.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de precipitação, evapotranspiração, descarga e balanço hídrico anual para os quinze anos medidos, entre 2000 e 2014, estão discriminados na Tabela 1 e Figura 7. As distribuições espaciais da precipitação anual estão apresentadas na Figura 4. As distribuições espaciais da evapotranspiração anual estão apresentadas na Figura 6.

A amplitude de variação interanual da precipitação na BAP foi de 282,5 km³ (máx em 2014: 874,6 e mín em 2002: 592,1). A precipitação anual média na BAP no período foi de 730 km³ ($\sigma = 70,4$). A amplitude de variação interanual da evapotranspiração foi de 279,1 km³ (máx em 2014: 515,2 e mín em 2002: 236,1). A evapotranspiração anual média na BAP foi de 381,8 km³ ($\sigma = 105,1$). Já a amplitude de variação interanual da descarga da bacia foi de 40,8 km³ (máx em 2014: 89,3 e mín em 2009: 48,5). A descarga anual média foi de 66,2 km³ ($\sigma = 11,9$). Em média, a evapotranspiração anual foi 48 % menor que a precipitação anual e a descarga anual foi 91 % e 81 % menor que a precipitação e a evapotranspiração, respectivamente.

Nos quinze anos analisados, o balanço hídrico da BAP foi sempre positivo, indicando que a bacia apresentou superávit hídrico, mesmo nos anos mais secos, como no caso de 2010. O balanço hídrico da BAP permaneceu relativamente constante nos sete primeiros anos analisados (~400 km³ – Figura 7). A partir de 2007, a bacia teve uma redução do seu armazenamento hídrico, alcançando o menor valor em 2010 (54,61 km³). No ano seguinte, o armazenamento elevou-se para ~200 km³, mantendo-se assim por dois anos consecutivos e crescendo mais um pouco em 2014 (~70 km³). A diminuição do armazenamento na BAP é explicada principalmente pelo aumento da evapotranspiração anual a partir de 2007. Esse aumento da ET também foi reconhecido no trabalho de Penatti et al. 2015, que encontrou, para o Pantanal, um acréscimo de 19 mm/mês na média da ET a partir de novembro de 2006.

Para toda a BAP, apesar de a evapotranspiração anual apresentar baixa correlação com a precipitação anual ($r=0,236$; $n=15$), os mapas de distribuição espacial desses dois parâmetros mostram que há uma tendência geral da primeira ser maior em regiões onde a precipitação é maior e vice-versa (Figuras 4 e 6). Por exemplo, a região do Chaco é a que apresenta as menores taxas anuais de precipitação e evapotranspiração. A correlação entre esses dois parâmetros hídricos da BAP já foi demonstrada no trabalho realizado por Penatti et al. (2015), em que foram analisados valores mensais, ao invés de anuais.

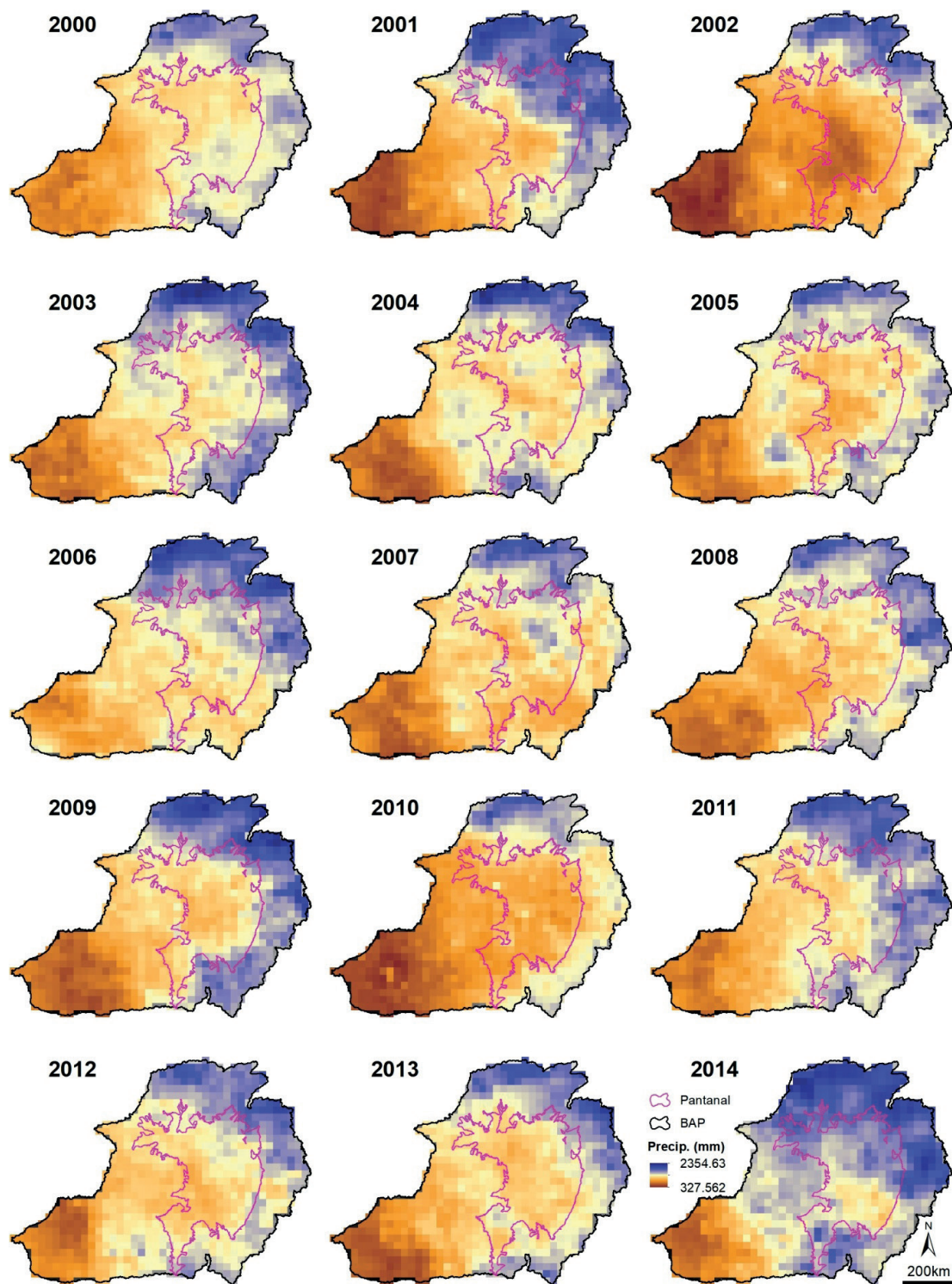


Figura 4 - Precipitação anual em milímetros.

No nosso trabalho foi realizada análise pixel a pixel, que confirma a correlação (espacialmente) existente entre a precipitação e evapotranspiração na BAP (Figura 5). Nessa análise, foi verificado que a evapotranspiração apresenta correlação moderada com a precipitação ($r=0,438$; $n=11.955$) e que aquela aumenta com o aumento desta (relação direta), confirmando o que é previamente observado nos mapas de precipitação e evapotranspiração anuais (Figuras 4 e 6). Das três áreas que compõe a BAP, o Chaco é a que possui a maior correlação entre os dois parâmetros hidrológicos ($r=0,593$; $n=3.450$). O Pantanal ($r=0,154$; $n=3.015$) e o Planalto ($r=0,007$; $n=5.490$) possuem baixa correlação.

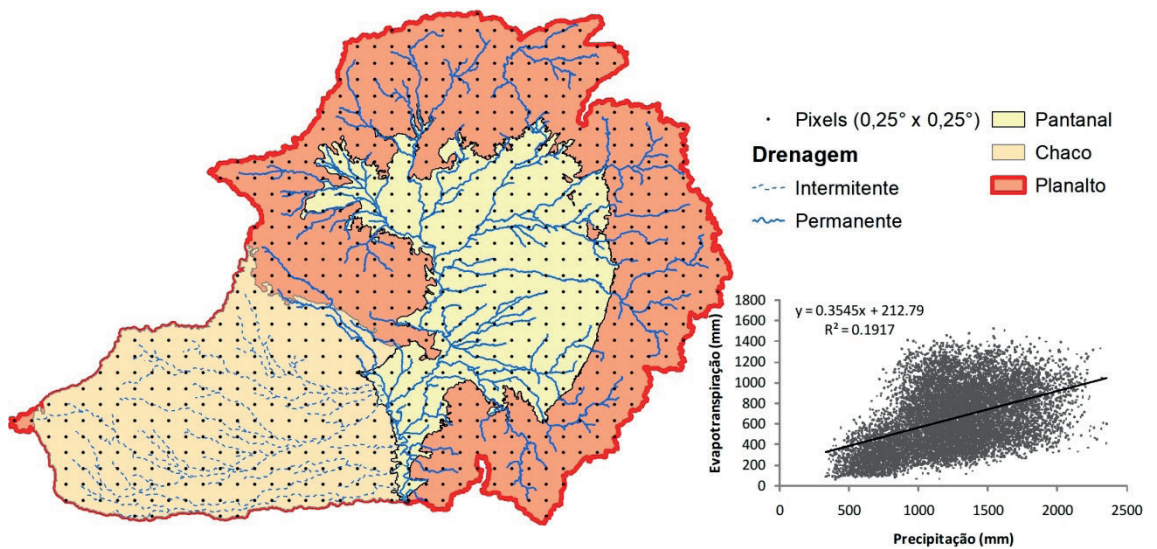


Figura 5 - Análise pixel a pixel da correlação entre precipitação e evapotranspiração (2000 a 2014).

Outra informação que podemos extrair dos mapas é o bem conhecido padrão de precipitações na bacia, em que estas são maiores nos planaltos e menores no Pantanal e no Chaco. Essa distribuição irregular da chuva em toda BAP é fortemente influenciada pelas diferenças no relevo regional que criam um tipo de efeito orográfico (Valeriano et al., 2012; Bergier, 2013) também conhecido como “ventos Fohn ou Foehn” (Elvidge; Renfrew, 2016).

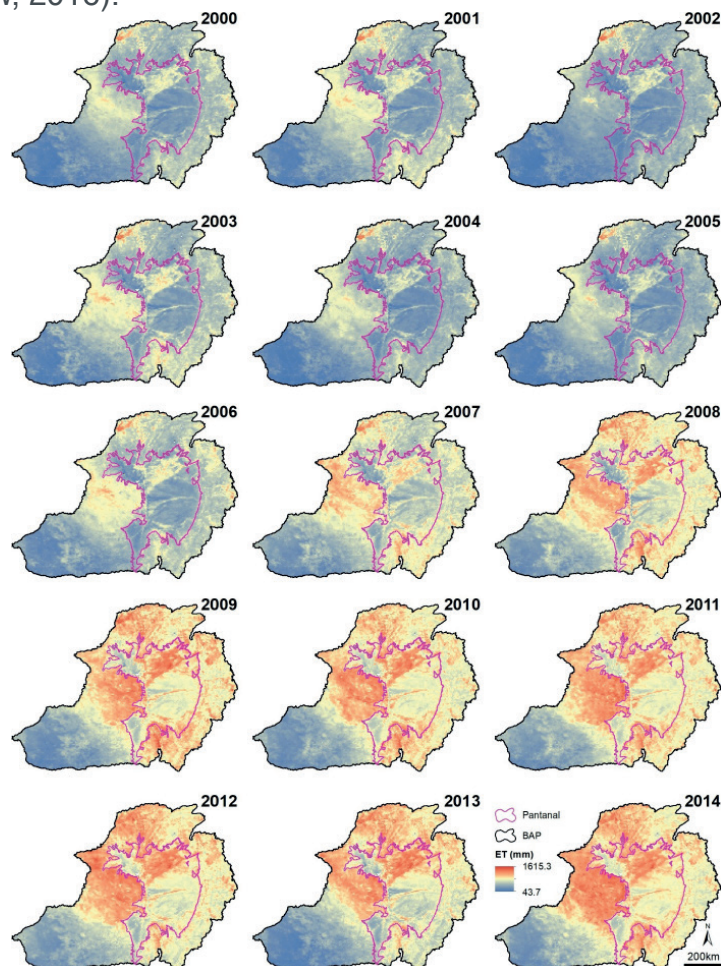


Figura 6 - Evapotranspiração anual em milímetros.

Alguns anos da série analisada apresentaram particularidades. Em 2002, por exemplo, a ET anual foi menor que nos anos anteriores, mas a precipitação foi bem menor, com uma descarga razoavelmente elevada. O ano de 2010 foi particularmente seco, provavelmente pela baixa taxa de precipitação e, principalmente, pela elevada taxa de ET anual. A BAP recupera seu armazenamento hídrico a partir de 2011 pela elevação das taxas de precipitação, apesar do aumento da taxa de evapotranspiração anual. Conforme pode ser observado na Figura 6, o aumento da ET anual não é significativamente correlacionado ao aumento da anomalia de temperatura (AT) na bacia ($r=0,290$; $n=15$). Todavia, a média de AT no período de 2007 a 2014 elevou-se $0,08$ °C em relação a 2000-2006 (Figura 7), sugerindo uma possível defasagem entre o aumento da temperatura e a ET.

Ano	Precipitação (km ³)	Evapotranspiração (km ³)	Descarga (km ³)	Balanço (km ³)	Anomalia de temperatura (°C)
2000	721,9	274,0	63,1	384,8	0,105
2001	753,8	297,5	53,1	403,1	0,353
2002	592,1	236,1	68,4	287,6	0,633
2003	784,3	305,0	67,6	411,7	0,140
2004	740,1	260,1	63,1	417,0	-0,013
2005	718,5	254,8	54,5	409,2	0,078
2006	783,6	323,2	73,8	386,7	0,468
2007	685,1	397,6	72,7	214,7	0,160
2008	711,7	457,5	75,4	178,8	-0,030
2009	751,1	489,1	48,5	213,5	0,495
2010	597,2	478,0	64,6	54,6	0,130
2011	775,1	495,0	85,7	194,4	0,320
2012	742,7	493,8	51,4	197,4	0,663
2013	720,2	449,8	62,0	208,4	0,253
2014	874,7	515,2	89,3	270,2	0,668

Tabela 1 - Balanço hídrico da BAP.

Em adição, a análise de correlação cruzada (defasagem) entre AT e os demais parâmetros hídricos sugerem que as correlações são maximizadas com atrasos de tempo de 2 e de 5 anos da temperatura (especialmente para P e ET – Figura 7). Este resultado pode sugerir uma eventual teleconexão da climatologia do Pantanal com fenômenos atmosféricos como a *Quasi Biannual Oscillation* (QBO) e *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), respectivamente (Yuan et al., 2014). Contudo, serão necessários novos estudos com séries mais longas de dados para se avaliar essa hipótese.

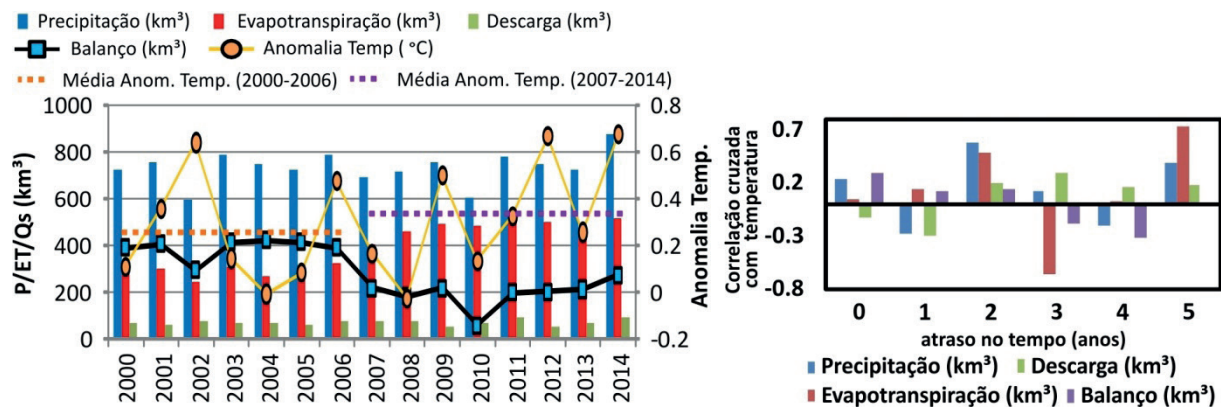


Figura 7 - Parâmetros do balanço hídrico da BAP comparados com variações de temperatura. Dados de anomalia de temperatura obtidos em <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series>. Para localização dos pontos de AT ver Figura 1.

4 | CONCLUSÃO

Estudos sobre o balanço hídrico, apesar de escassos, são de suma importância para a compreensão da dinâmica hidrológica e o planejamento de uma bacia hidrográfica. O presente trabalho demonstra que a BAP é uma bacia de drenagem que pode apresentar superávit hídrico.

Os modelos construídos por meio do *ModelBuilder* do ArcGIS 10 (*TRMM Annual Precipitation; MOD16A2 Annual Evapotranspiration*) permitiram estimar com acurácia a precipitação e a evapotranspiração anual da BAP. Com estas ferramentas é possível calcular a precipitação e evapotranspiração anual de qualquer região da Terra, coberta e revisitada por estes sensores orbitais. A otimização nos cálculos se dá principalmente pelo fato de os modelos concatenarem várias etapas de cálculos dos dados utilizados (TRMM e MOD16), que de outra forma (manualmente) demandaria muito tempo, além dos riscos de erros nas várias etapas de cálculo.

Os valores de precipitação anual não apresentaram correlação com os valores de evapotranspiração, talvez pela baixa quantidade de anos medidos (2000 a 2014). Outra constatação importante é que os valores de descarga da bacia também não se correlacionam bem com os outros dois parâmetros medidos neste trabalho.

Os valores de balanço hídrico mostram que há uma tendência geral de diminuição da quantidade de água armazenada na BAP no intervalo de tempo avaliado. Esta tendência pode resultar do aumento da evapotranspiração anual na bacia, que a partir de 2007 alcançou valores próximos a 400 km³/ano. Não foi possível determinar com exatidão a causa para o aumento da evapotranspiração na BAP a partir de 2007, mesmo quando considerada mudanças na anomalia da temperatura na bacia. Entretanto, a análise de correlação cruzada sugere que tanto esse parâmetro quanto a precipitação apresentam maiores correlações com a temperatura para defasagens de 2 a 5 anos, possivelmente devido a fenômenos climático-atmosféricos como QBO e ENSO, respectivamente, o que deve ser futuramente abordado e avaliado.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP 2014/06889-2), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 443437/2014-9), a Embrapa Macroprograma (SEG 03.17.00.047.00.00) e a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – FUNDECT (TO: 083/2016) pelo apoio financeiro à nossas pesquisas na Bacia do Pantanal; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de bolsa ao primeiro (140334/2015-7; 169329/2017-8) e ao segundo autor (304863/2015).

6 | MATERIAL SUPLEMENTAR

A ferramenta para calcular precipitação e evapotranspiração anual está disponível em <https://1drv.ms/u/s!ArdUczeHp2hZwEdibH7fkGCPyiAT>. Os arquivos MOD16A2 estão disponíveis em <https://1drv.ms/f/s!ArdUczeHp2hZhyqUeKy4Mw9vMkOF>. Os arquivos TRMM estão disponíveis em <https://1drv.ms/f/s!ArdUczeHp2hZhyz41qJjn-PHEEb5>. Um tutorial para utilização da ferramenta está disponível em <https://1drv.ms/b/s!ArdUczeHp2hZyHLr160uV4BuE5f>.

REFERÊNCIAS

ANA. **Sistema de Informação Hidrológica**. 2018. Disponível em: www.hidroweb.ana.gov. Acesso em 01/06/2018.

Bergier, I.. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Science of The Total Environment**, v.463-464, p. 1060-1066, 2013.

Bergier, I.; Assine, M. L.; McGlue, M.; Alho, C.; Silva, A.; Guerreiro, R. L.; Carvalho, J.C. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of The Total Environment**, v. 619-620, p. 1116-1125, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.163.

Bravo, J.; Allasia, D.; Paz, A.; Collischonn, W.; Tucci, C.. Coupled hydrologic–hydraulic modeling of the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.17, p. 635-646, 2012. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000494.

Clarke, R. T.; Tucci, C. E.; Collischonn, W.. Variabilidade temporal no regime hidrológico da bacia do rio Paraguai. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, p. 201-211, 2003.

Elvidge, A. D.; Renfrew, I. A.. The causes of Foehn Warming in the lee of mountains. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 97, n. 3, p. 455-466, 2016. DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00194.1.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS 10**. Redlands, California, United States of America, 2010.

Galdino, S.; Clarke, R. T.. **Probabilidade de ocorrência de cheia no Rio Paraguai, em Ladário, MS Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1997.

Hamilton, S. K.; Sippel, S. J.; Melack, J. M.. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South

- America determined from passive microwave remote sensing. **Archiv fur Hydrobiologie**, v. 137, p. 1-23, 1996.
- Huffman, G. J.; Adler, R. F.; Bolvin, D. T.; Gu, G.; Nelkin, E. J.; Bowman, K. P.; Bowban, K.P.; Hong, Y.; Stocker, E.F.; Wolff, D.B.. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, p. 38-55, 2007. DOI: 10.1175/JHM560.1.
- Mu, Q.; Heinsch, F. A.; Zhao, M.; Running, S. W.. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. **Remote Sensing of Environment**, v.111, p. 519-536, 2007. DOI:10.1016/j.rse.2007.04.015.
- Mu, Q.; Zhao, M.; Running, S. W.. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 1781-1800, 2011. DOI:10.1016/j.rse.2011.02.019.
- Mu, Q.; Zhao, M.; Running, S. W.. **MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3) - Algorithm Theoretical Basis Document: Collection 5**. Missoula: NASA Headquarters. 2013.
- NOAA. **National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Time Series**, published May 2018, retrieved on June 13, 2018 from <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>
- Nunes, M. C.; Neves, S. A.; Neves, R.; Nery, J. T.. Comportamento da precipitação pluvial no município de Cáceres Pantanal Mato-Grossense no período de 1971 a 2011. **Científica**, v. 44, n. 3, p. 271-278, 2016.
- Padovani, C. R.. **Dinâmica das Inundações do Pantanal**. Piracicaba: USP/ESALQ, 2010.
- Paz, A. R.; Collischonn, W.; Bravo, J. M.; Bates, P.; Baugh, C.. The influence of vertical water balance on modelling Pantanal (Brazil) spatio-temporal inundation dynamics. **Hydrological Processes**, v. 28, p. 3539-3553, 2014. DOI: 10.1002/hyp.9897.
- Penatti, N. C.; Almeida, T.S.R.; Ferreira, L.G.; Arantes, A.E.; Coe, M.T.. Satellite-based hydrological dynamics of the world's largest continuous wetland. **Remote Sensing of Environment**, v. 170, p. 1-13, 2015. DOI: 10.1016/j.rse.2015.08.031.
- Prass, T. S.; Bravo, J. M.; Clarke, R. T.; Collischonn, W.; Lopes, S. R.. Comparison of forecasts of mean monthly water level in the Paraguay River, Brazil, from two fractionally differenced models. **Water Resources Research**, v. 48, p. 1-13, 2012. DOI:10.1029/2011WR011358.
- Shimabukuro, Y. E.; Novo, E. M. L. M.; Ponzoni, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1729-1737, 1998. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/5057/7206>.
- Silva, A. **Geomorfologia do megaleque do rio Paraguai, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. Tese de Doutorado (Geociências e Meio Ambiente) – UNESP Rio Claro-SP, 2010.
- Valeriano, M. d.; Salvi, L. L.; Aragão, J. R.. Relações entre a distribuição da precipitação e o relevo da bacia do alto Paraguai. In: *Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, 4., 2012, Bonito-MS. **Anais...** São José dos Campos-SP: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2012. p. 289-298.
- Yuan, W.; Geller, M. A.; Love, P. T. ENSO influence on QBO modulations of the tropical tropopause. Quarterly **Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 140, p. 1670-1676, 2014. DOI: 10.1002/qj.2247.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-222-7

