

## **Estudo da redução das áreas alagadas no Pantanal em 2012**

Elisabete Caria Moraes<sup>1</sup>  
Gabriel Pereira<sup>2</sup>  
Francielle da Silva Cardozo<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515  
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil  
{bete, gabriel, cardozo}@dsr.inpe.br

**Resumo:** A planície do Pantanal é sujeita a pulsos de inundação inter e intra-anual com amplitudes que podem ocasionar problemas socioeconômico e ambiental, cujo monitoramento possibilitaria a intervenção humana para a amenização destes aspectos. O uso de imagens dos satélites TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) e MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) permite o acompanhamento do regime pluviométrico e das áreas alagadas da região, respectivamente. A utilização das séries temporais destes satélites permitiu observar a redução dos alagamentos na planície do Pantanal em 2012. Essa maior redução observada desde 2000 foi em grande parte devido a uma combinação de condições naturais particularmente adversas (chuvas fracas durante a época chuvosa). Comparativamente a área média alagada no período de 2000 a 2011 observou-se uma redução de 60% da área alagada em 2012. Um dos fatores que ocasionou esta redução foi à diminuição de 22% da precipitação acumulada na estação chuvosa, visto que 82% da precipitação incidente na planície do Pantanal ocorrem nesta estação, portanto estas características ocasionaram o menor índice pluviométrico desde 2000. O atraso ou diminuir a taxa de precipitação após a estação seca é uma parte essencial na definição do aumento ou da diminuição da área alagada do Pantanal no ano subsequente e este acompanhamento pode também contribuir como um dos sinais de aviso para prever os eventos extremos no pulso de inundação no Pantanal.

**Palavras-chaves:** áreas alagadas, precipitação, pulsos de inundação, imagens de satélite, Pantanal.

**Abstract:** The Pantanal wetland is subject to inter- and intra-annual variation in flood pulses that can lead to socio-economic and environmental problems, and improved monitoring of this variability can provide opportunities for mitigation of its impacts. The use of satellite images from TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) and MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) allows for monitoring the rainfall and wetland inundation, respectively. In this study time series of these satellite observations reveal the degree of reduction of flooding in the Pantanal during 2012 in comparison to recent years. Compared to the average area flooded in the period 2000 – 2011, MODIS data indicate a reduction of 60% of the flooded area in 2012. The inundation in 2012 was the lowest observed since 2000 and was largely due to lower than normal rainfall throughout the rainy season. TRMM data show a reduction of 22% of the cumulative rainfall in the rainy season of 2012, when over the 13 years of observation 82% of rainfall occurred; 2012 had the lowest rainfall rate since 2000. Tracking the delay or decrease in the rate of rainfall during the wet season may provide warning signs to predict extreme events in the flood pulse in the Pantanal, since there is a considerable time lag between rainfall and inundation in much of the region.

**Key Words:** wetlands, precipitation, flood pulses, satellite images, Pantanal.

## 1. Introdução

A maior planície contínua sujeita a inundações periódicas intra e inter-anual da Terra em região tropical é o Pantanal localizado na Bacia do Alto Paraguai - BAP Abdon (2004). Este bioma é composto por vários ecossistemas e possui uma das maiores diversidades do mundo, tanto em espécies animais como vegetais, fato determinante para que a Constituição Federal de 1988 considerasse o Pantanal como patrimônio nacional e para que a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) em 2000 o incluísse como um Patrimônio da Humanidade e Reserva da Biosfera.

O regime de inundação deste bioma é principalmente dependente de sua topografia, uma extensa planície com pequena declividade, e da intensidade e distribuição das chuvas na BAP, a qual é caracterizada por um ciclo sazonal que em geral apresenta um período chuvoso de outubro a março e um período seco de abril a setembro. Esta dinâmica de alagamento do bioma Pantanal é um fator fundamental na determinação dos principais processos bióticos e abióticos, e, conseqüentemente, nas composições específicas das unidades de paisagem. A dinâmica de alagamento apresenta forte influência nas atividades agropecuária, principalmente naquelas relacionadas ao manejo do gado, que em geral obriga ao longo do ano o deslocamento deste para as regiões não inundadas.

O ano de 2012 tem sido considerado um ano atípico em toda a Planície do Pantanal, visto a redução do nível de água em muitos leitos de seus rios. A régua centenária de Ladário, MS, mantida pelo Serviço de Sinalização Náutica do 6º Distrito Naval do Brasil, mostra que desde novembro o nível do Rio Paraguai encontra-se abaixo do nível médio mensal, tendo atingido em junho a altura de 1,88 metros, enquanto que na mesma data de 2011 o registro fora de 4,58 metros. Este tipo de registro permite monitorar as cheias ou secas do Pantanal, servindo de alerta para problemas que ambas as situações possam acarretar, porém estes dados não são obtidos para toda a planície devido ao grande número de rios e afluentes na região. O uso de imagens de satélites permite estimar as áreas influenciadas pelos pulsos de inundação em toda sua extensão territorial.

Esta estimativa por satélites é possível devido à modificação dos elementos naturais pelas inundações na superfície, que ocasionam alterações significativas nas interações física, química e biológica destes elementos com a radiação eletromagnética e, portanto, são possíveis de serem identificadas através de imagens (Pereira et al., 2007; Adami et al., 2008; Santos et al., 2009). O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging*

*Spectroradiometer*) a bordo da plataforma Terra, cujas características temporal, espacial e espectral aliada à qualidade do georeferenciamento de seus produtos permite a discriminação e o monitoramento ininterrupto das áreas alagadas deste bioma com boa precisão Moraes et al. (2009); Cardozo et al. (2010). O regime de chuvas também pode ser monitorado através do uso do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), que obtêm informações sobre a atmosfera a cada três horas. Suas estimativas já foram validadas para diversas partes do planeta, inclusive para o bioma Pantanal por Viana e Alvalá (2011).

## 2. Objetivo

Este trabalho objetiva estudar e avaliar, através do uso de imagem do sensor Modis/Terra e dos sensores a bordo do TRMM, a redução de áreas alagadas do Pantanal durante o período úmido para o ano de 2012 comparativamente com o período de 2000 a 2011.

## 3. Material e Métodos

A área de estudo é representada pela região do Pantanal, cuja origem de seus principais rios é o planalto adjacente, que aliado a grande extensão da planície, 138.183 km<sup>2</sup>, e pequena declividade (altitude média varia de 60 a 150m) favorece a ocorrência de um complexo sistema de cheias. Esta planície é formada principalmente por tributários da margem esquerda do rio Paraguai, no território brasileiro, com sua borda oeste tocando o território da Bolívia ao norte e a do Paraguai ao sul. O Pantanal engloba parte dos Estados do Mato Grosso do Sul (65%) e Mato Grosso (35%), possui clima com temperatura média anual de 25°C, com mínima de 15°C e máxima de 34°C. A precipitação média anual dos últimos 14 anos foi aproximadamente 1220 mm, variando de 239 mm na estação seca a 1002 mm na estação úmida, Viana e Alvalá (2011), enquanto que a média anual na BAP é 1400 mm, variando de 800 a 1600mm. Evidenciando que os maiores índices pluviométricos são observados no planalto, ANA/GEF/PNUMA/OEA (2004).

Foram utilizadas imagens do sensor MODIS, produtos MOD43B3, e do satélite TRMM produtos 3B43. Ambos os produtos foram amplamente validados para diversas regiões do globo.

O produtos do MODIS representam os dados de albedo e as reflectâncias fotossinteticamente ativa (PAR) e na faixa do infravermelho próximo e médio (NIR/SWIR) representativos de cada 16 dias com resolução espacial de 1km. As imagens utilizadas corresponderam aos *tiles* H12V10 e H12V11 e engloba a área do Pantanal. O período analisado compreende as imagens de fevereiro de 2000 a junho de 2012. Todas estas imagens foram reprojatadas e tratadas, com base no *pixel reliability*, de forma a excluir os elementos contaminados com nuvens, aerossóis e sombras. Além disto, em geral são desprezadas as imagens obtidas com inclinação do sensor superior a 30° em relação à visada vertical. Desta maneira o produto final gerado a cada de 16 dias é composto pelos *pixels* mais representativos do albedo ou reflectâncias (PAR e NIR/SWIR) da superfície. Adotou-se a metodologia de Cardozo (2010) para delimitação de área alagada.

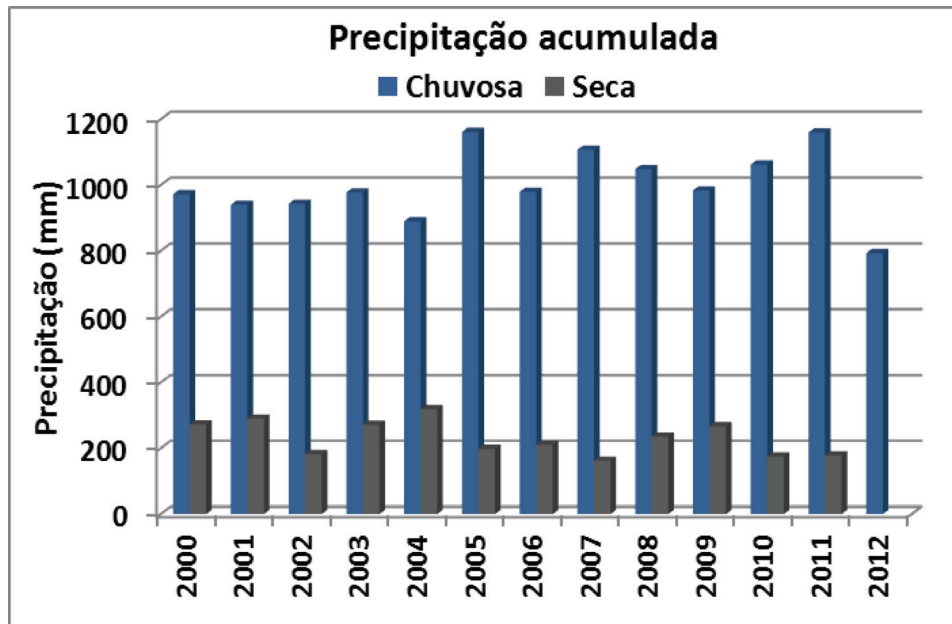
Os produtos 3B43 do TRMM são mapas de precipitação média mensal originários de uma rodada mensal dos subprodutos do algoritmo 3B42, que combina as estimativas de precipitação das bandas do microondas obtidas através dos sensores SSM/I (*Special Sensor Microwave Imager*), AMSU-B (*Advanced Microwave Sounding Radiometer*) e AMSU-E (*Advanced Microwave Scanning Radiometer*) para ajustar as estimativas de

precipitação na banda infravermelho a cada 3 horas. Através dos mapas de precipitação mensal, que possuem resolução espacial de 0,25° de latitude e longitude, obteve-se a média mensal da precipitação no Pantanal para todos os meses do período de janeiro de 2000 a março de 2012.

#### 4. Resultados e Discussões

A figura (**Figura 1**) apresenta a média anual da precipitação acumulada para as estações chuvosas e secas da planície do Pantanal. Nestes 13 últimos anos verificou-se que 82% da precipitação anual na região ocorre na estação chuvosa, que abrange os meses de outubro a março. A média da precipitação acumulada nesta estação para o período que compreende os anos de 2000 a 2011 foi de 1018 mm, enquanto que o valor médio para esta estação em 2012 foi de 793 mm, o que mostra uma redução na precipitação de 22%. Esta figura evidencia que o ano de 2012 apresentou o menor índice pluviométrico destes últimos 13 anos.

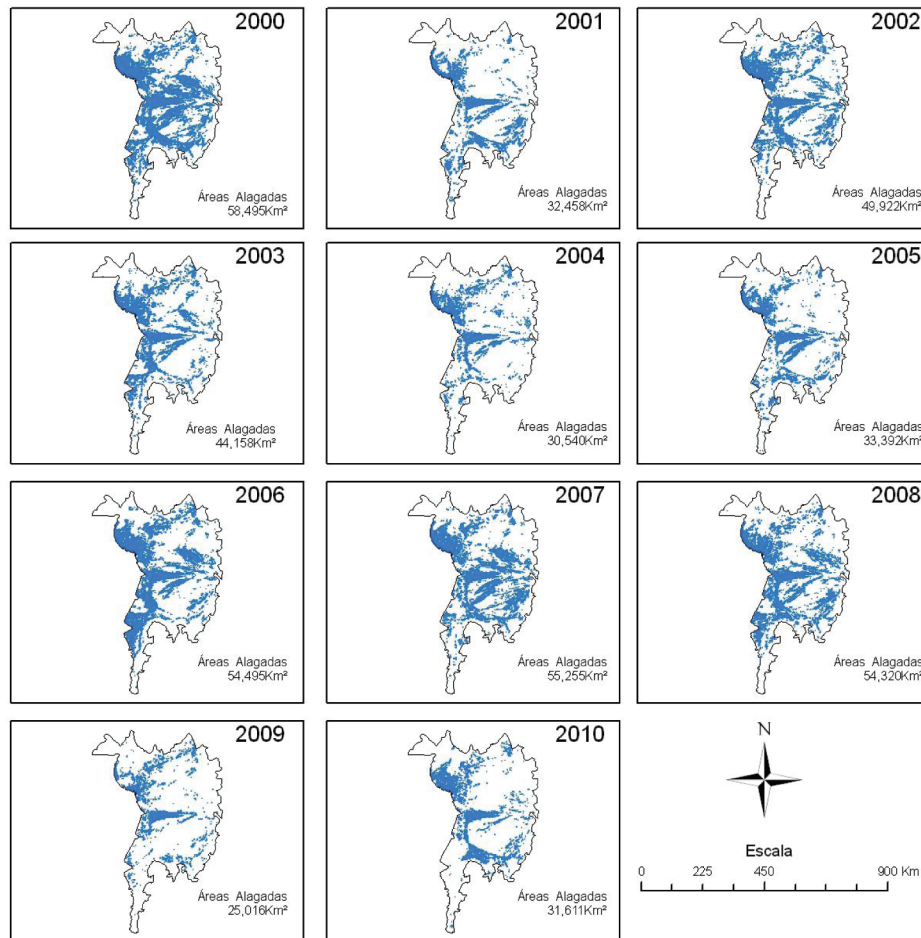
Ao analisar a variação média mensal acumulada para os meses da estação chuvosa no Pantanal (outubro de 2011 a março de 2012) verificou-se que em todos os meses deste período houve uma redução na precipitação em relação à década anterior. Para o mês de outubro praticamente não houve diferença significativa no índice de precipitação acumulada (1,1%), no entanto para os demais meses os percentuais variaram de 32,7 a 11,9%, sendo que em novembro registrou-se a maior discrepância em relação à década anterior e em fevereiro a menor. O atraso ou a diminuição do índice de precipitação após a estação seca é parte essencial na definição da maior ou menor área inundada do Pantanal no ano subsequente e este monitoramento também pode contribuir como um dos sinais de alerta para a previsão de ano cheio ou seco no Pantanal.



**Figura 1.** Média anual da precipitação acumulada para as estações chuvosa e seca para o Pantanal no período de 2000 a 2013.

Complementado o monitoramento anual de áreas alagadas da planície do Pantanal apresentados na figura acima, (**Figura 2**), Cardozo et al. (2010) que abrange os anos hidrológicos de 2000 a 2010, elaborou-se os mapas de regiões alagadas deste bioma para os anos hidrológicos de 2011 e 2012, conforme mostra os mapas anuais de áreas alagadas

para o Pantanal (**Figura 3**).



**Figura 2.** Mapas anuais de áreas alagadas para Pantanal de 2000 a junho de 2010.

Fonte: Cardozo et al. (2010).

Na análise da precipitação acumulada para período chuvoso foi verificado que os anos que apresentaram os menores índices pluviométricos foram os anos hidrológicos de 2012, seguidos de 2004, no entanto os anos que apresentaram menores áreas inundadas foram 2012, seguido de 2009.

Através das **Figuras 2 e 3** observa-se o pulso de inundação interanual do Pantanal. Ao longo destes 13 anos observa-se que o ano hidrológico de 2012 apresentou a menor área alagada, visto que na década anterior o ano de 2009 foi o que apresentou menor área alagada. No ano hidrológico de 2009 a área da inundação na planície foi de 25.016 Km<sup>2</sup>, enquanto que em 2012 a área alagada totalizou 17.571 Km<sup>2</sup>. Estas áreas inundadas correspondem a 15,6% e 12,7% da área total do Pantanal, respectivamente.

No período de 2000 a 2011 em média 31,8% desta planície foi alagada, o que representa uma área de 43.978 Km<sup>2</sup>, portanto, comparativamente em 2012 ocorreu uma redução de aproximadamente 60% da área média alagada destes últimos treze anos.

A **Figura 4** apresenta o valor anual das áreas alagadas do Pantanal para os anos hidrológicos de 2000 a 2012, e as precipitações acumuladas na estação seca e anual no Pantanal para o período de janeiro de 2000 a março de 2012. Observa-se que a periodicidade na abrangência do pulso de inundação está diretamente relacionada ao índice de precipitação anual incidente na planície, bem como ao comportamento do pluviométrico da estação seca e de chuva nesta região, porém estes não explicam totalmente a expansão



ou redução da área inundada.

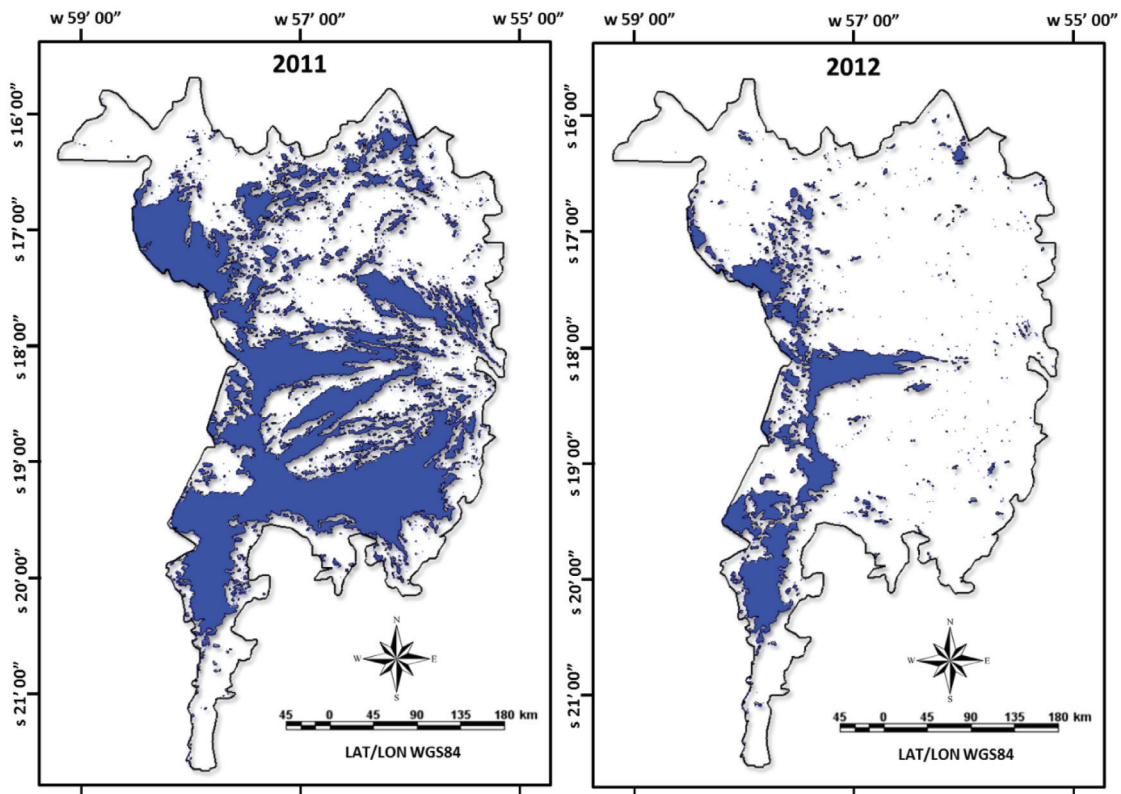


Figura 3. Mapas anuais de áreas alagadas para Pantanal de 2011 a junho de 2012.

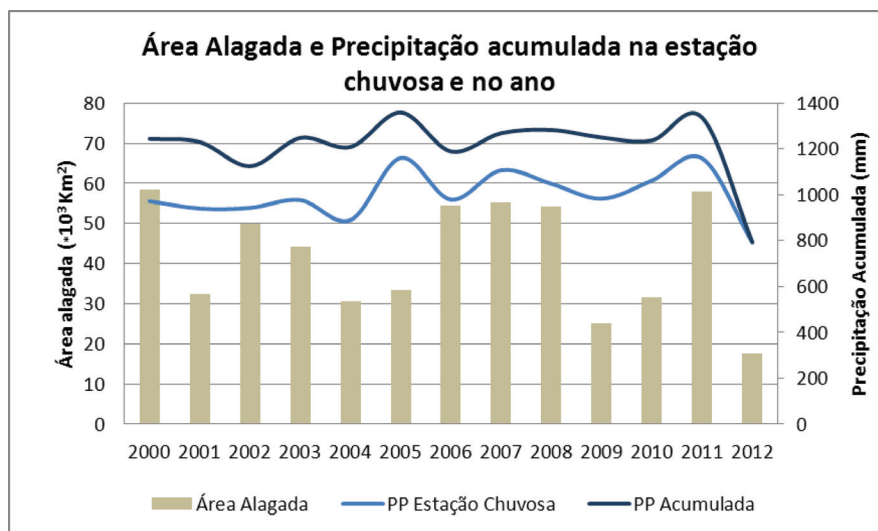


Figura 4. Médias anuais da precipitação acumulada para a estação chuvosa e das áreas alagadas de 2000 a junho de 2012.

Através da análise mensal da precipitação média mensal observou-se que há uma defasagem temporal entre o regime de precipitação do Pantanal e a evolução das áreas inundadas, e que em média esta defasagem perfaz um intervalo de dois a três meses.

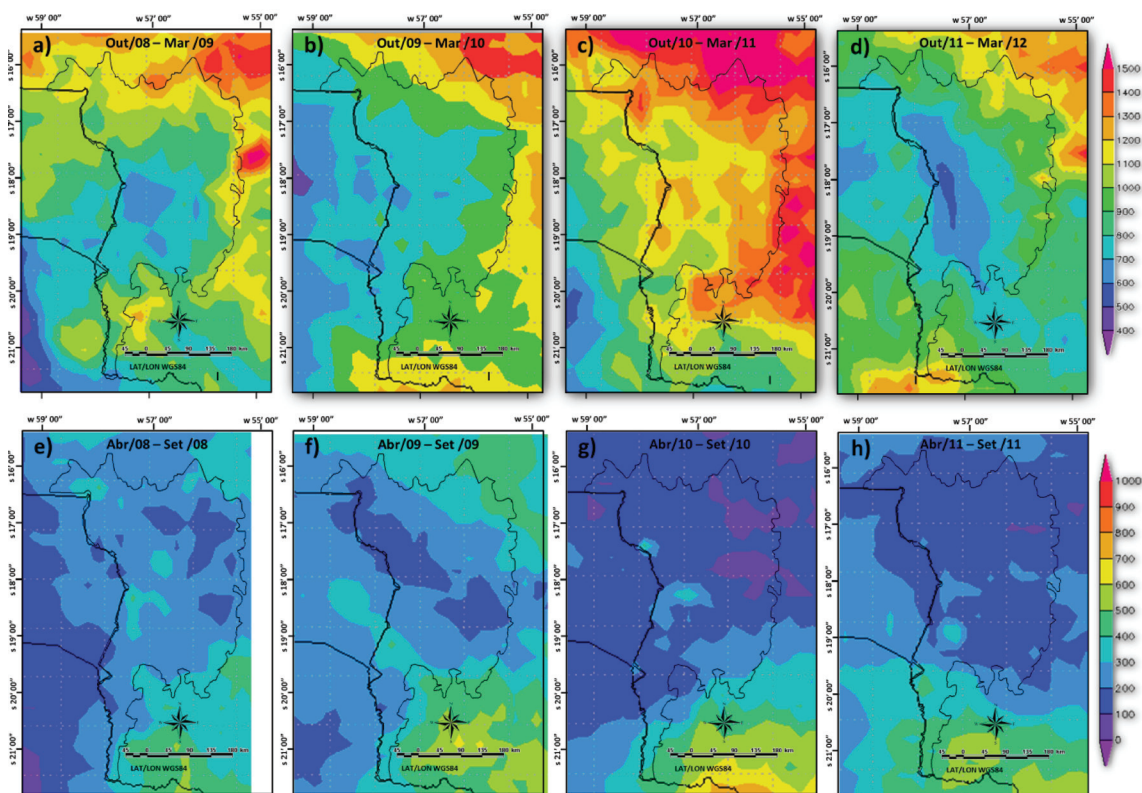
A espacialização dos índices de precipitação obtidas através do TRMM possibilita

a identificação de áreas que poderiam sofrer maiores impacto devido o stress provocado pelas chuvas. A **Figura 5** exemplifica a distribuição de precipitação acumulada na planície para os períodos seco e chuvoso dos anos de 2009 e 2012.

Embora a estação chuvosa dos anos de 2009 e 2012 (**Figura 5a e 5d**) apresentaram os menores índices pluviométricos desde 2000 no Pantanal, a estação seca (Figura 5h) que antecedeu o ano hidrológico de 2012 (julho de 2011 a junho de 2012) mostrou os menores valores de precipitação (precipitação média acumulada entre 200 e 300mm) praticamente para a toda a planície quando comparado à estação seca de 2009 (precipitação média acumulada entre 200 e 300mm), exceção observada apenas para a região sul do Pantanal.

Cabe ressaltar que para o período estudado o ano de 2011 apresentou a maior área alagada, o que também é condizente com o fato de que a estação chuvosa do ano hidrológico de 2011 apresentou os maiores índices pluviométricos desde 2000 na planície, mesmo apresentando uma estação de seca com índices de precipitação menor do que a estação seca que antecedeu o ano de 2012.

A análise das imagens de satélite evidência que o total de área alagada no Pantanal sofre grande influência das águas provenientes da região norte do País, visto que o regime de precipitação do Pantanal não é o único fator que provoca a inundação das áreas deste bioma.



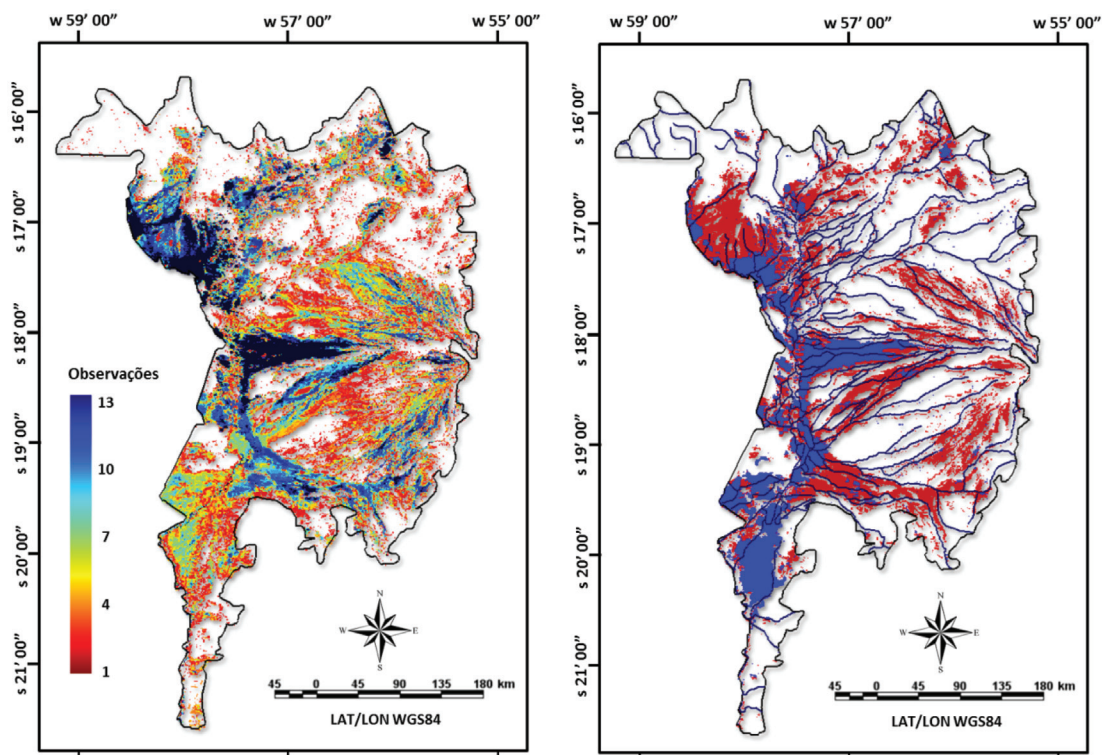
**Figura 5.** Mapas de precipitação acumulada no Pantanal para as estações chuvosa (a, b, c,d) e seca (e, f, g, h) dos anos hidrológicos de 2009 a 2012.

A quantidade de eventos relacionados às inundações entre todos os anos analisados é mostrada na **Figura 6a**, enquanto que a **Figura 6b** apresenta a comparação entre regiões com as áreas alagadas em 2012 (azul) e as regiões com áreas cuja frequência de inundação encontra-se acima da média de ocorrência de alagamentos do período de 2000 a 2011(vermelho), bem como apresenta a malha hidrográfica do Pantanal.

As áreas mais negras da **Figura 6a** apresentam as regiões permanentemente alagadas

do Pantanal, enquanto que as áreas em vermelho definem as regiões alagadas poucas vezes, mesmo em anos que os índices pluviométricos da BAP foram altos. As áreas permanentemente alagadas são principalmente aquelas que sofrem a influência da parte central do leque do rio Taquari, bem como aquela a noroeste do bioma Pantanal.

A **Figura 6b** destaca a redução do pulso de inundação do ano hidrológico de 2012 em relação a todo o período estudado. Verifica-se que boa fração de área alagada pertence àquelas regiões permanentemente alagadas. No entanto, boa parte da área alagada em 2012 esta situada a sudoeste da planície, região que geralmente apresenta de média a baixa frequência de inundações. Os mapas pluviométricos apresentados nas **Figuras 5d** e **5h** explica parte do alagamento da região Sudoeste da planície do Pantanal, visto que no ano hidrológico de 2012 esta região foi a que maior índice de precipitação apresentou durante a estação seca (**Figura 5h**), bem como apresentou índices compatíveis aos maiores índices observados na região norte e leste da planície durante a estação chuvosa deste ano.



**Figura 6.** Mapa da quantidade de eventos relacionados ao alagamento no período de 2000 a junho de 2012 (a) e mapa comparativo das áreas alagadas em 2012 (em azul) com as regiões cujas frequências de eventos de inundações foram superiores a 6 anos (vermelho).

## 5. Conclusões

O uso de imagens de satélites permite monitorar o regime de precipitação e o pulso de inundação do bioma Pantanal, que apresenta grande variabilidade inter e intra-anual.

A redução de alagamentos na planície do Pantanal em 2012 comparativamente ao período de 2000 a 2011 foi 60% da área média alagada nestes últimos 12 anos. Um dos fatores que ocasionou esta diminuição foi a redução de 22% da precipitação acumulada na estação chuvosa, também o menor índice pluviométrico desde 2000. Portanto, a grande redução da área alagada e de precipitação na estação chuvosa de 2012 indica que



o período de inverno deste ano poderá ocasionar uma severa estiagem para o Pantanal, acarretando diversos problemas ambientais e socioeconômicos para a região.

A diminuição ou o atraso das chuvas no Pantanal após a estação seca é parte essencial na definição da maior ou menor área inundada desta planície no ano seguinte e o monitoramento destes índices pluviométricos também pode contribuir como um dos sinais de alerta para a previsão de anos de estiagem ou de cheias no Pantanal.

O estudo aprofundado do regime de precipitação da BAP possibilitará a melhor compreensão desta dinâmica de inundação, uma vez que o longo destes 13 anos observa-se que as áreas alagadas não foram proporcionais à quantidade de precipitação acumulada na planície e que, portanto, este pulso também sofre influência do regime de precipitação no planalto, região de origem dos principais rios desta bacia.

## 6. Bibliografia

Abdon, M. M. **Os impactos ambientais no meio físico – Erosão e assoreamento na bacia hidrográfica do rio Taquari, MS, em decorrência da pecuária.** 2004. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

Adami, M.; Freitas, R. M.; Padovani, C. R.; Shimabukuro, Y.E.; Moreira, M. A. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal por meio de imagens MODIS. **Pesquisa agropecuária Brasileira** (Online), v. 43, n. 10, p. 1371-1378, 2008.

ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Implementação de Práticas de Gerenciamento Integrado de Bacia Hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai, Programa de ações estratégicas para o gerenciamento integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai – Síntese Executiva.** Setembro de 2004. Disponível em <[http://archive.iwlearn.net/www.ana.gov.br/www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/ProgramasProjetos/docs/Sintese\\_Pantanal\\_Port.pdf](http://archive.iwlearn.net/www.ana.gov.br/www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/ProgramasProjetos/docs/Sintese_Pantanal_Port.pdf)> . Acesso em 26 jun.2012

Cardozo, F. S.; Pereira, G.; Silva, G. B. S.; Silva, F. B.; Shimabukuro, Y. E.; Moraes, E. C.. Discriminação de áreas alagadas no Pantanal sul-matogrossense a partir de imagens orbitais. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2009, Corumbá-MS. **Anais do II Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, p. 99-106, 2009.

Moraes, E. C.; Pereira, G.; Arai, E. Uso dos produtos EVI do sensor MODIS para a estimativa de áreas de alta variabilidade intra e interanual no bioma Pantanal. **Geografia**, v. 34, número especial, p. 757-767, 2009.

Pereira, G.; Moraes, E. C.; Arai, E.; Oliveira, L. G. L. Estudo preliminar da estimativa da reflectância e albedo de microssistemas pantaneiros a partir de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, p. 55-61, 2007.

Rodela, L.G. **Unidades de vegetação e pastagens nativas do Pantanal da Nhecolândia, Mato Grosso do Sul.** 2006. 222p. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2006.

Santos, J. S. dos; Pereira, G.; Shimabukuro, Y. E.; Rudorff, B. F. T. Identificação de áreas alagadas no Bioma Pantanal - Brasil - Utilizando dados multitemporais TERRA/MODIS. **Geografia**, v. 34, número especial, p. 745-755, 2009.