

Utilização de parâmetros biofísicos para a estimativa de áreas alagadas no bioma Pantanal

Francielle da Silva Cardozo¹
Luciana de Oliveira Pereira¹
Yhasmin Mendes de Moura¹
Gabriel Pereira¹
Milton Kampel¹
Yosio Edemir Shimabukuro¹
Elisabete Caria Moraes¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil
{cardozo, luciano, yhasmin, gabriel, milton, yosio, bete}@dsr.inpe.br;

Resumo. O Pantanal corresponde a uma extensa planície aluvial drenada pelo alto curso do rio Paraguai e seus afluentes, sendo uma das maiores planícies de sedimentação do globo, sujeita a inundações periódicas que variam em intensidade, em extensão e em permanência. Sendo assim, foi utilizado o produto MOD43B3 do sensor MODIS, referente ao albedo da superfície e à reflectância PAR e NIR/SWIR, para identificar as áreas alagadas no Pantanal. Para a validação das áreas alagadas classificadas, foram utilizadas imagens do produto MOD09GA do sensor MODIS. Os resultados mostraram que as maiores áreas alagadas ocorreram no ano de 2000, e as menores áreas alagadas ocorreram no ano de 2009. Ainda, a validação das áreas alagadas demonstrou que o método de classificação foi eficiente, obtendo uma acurácia de 90%, e que a contribuição pluviométrica mostrou ser um dos fatores que influenciaram tanto na intensidade como no número de eventos relacionados às inundações da área de estudo. Portanto, o entendimento de grandes sistemas como o bioma Pantanal torna-se de suma importância, servindo de subsídios para a modelagem ambiental. Além disto, o uso de produtos, como, por exemplo, referentes ao albedo da superfície, podem contribuir significativamente para o entendimento relacionado não só à variação dinâmica que ocorre no bioma, mas também ao entendimento das mudanças no clima local.

Palavras-chave: albedo da superfície, áreas alagadas, Pantanal.

Abstract. The Pantanal represents an extensive alluvial plain drained by the upper course of the Paraguay river and its tributaries, being one of the largest sedimentary plains of the world, susceptible to periodic flooding, which vary in intensity, in extent and permanence. Then, the MOD43B3 product of MODIS sensor, referent to the surface albedo and PAR and NIR/SWIR reflectance, is used to identify the wetlands in the Pantanal. In order to validate the classified flooded areas, the images of MOD09GA product of MODIS sensor were used. The results showed that the largest wetlands occurred in 2000 year, and the smaller wetlands occurred in the 2009 year. Still, the wetlands validation showed that the classification method was efficient, getting an accuracy of 90%, and that rainfall contribution showed to be one of the factors that influence both the intensity and number of events related to the flooding of the study area. Thus, the understanding of large systems like the Pantanal biome becomes extremely important and serves as the input for environmental modeling. Also, the use of products, such as surface albedo, can contribute significantly to the understanding related not only of dynamic variation that occurs in the biome, but also the understanding of changes in local climate.

Key-words: surface albedo, wetlands, Pantanal.

1. Introdução

O Pantanal corresponde a uma extensa planície aluvial drenada pelo alto curso do rio Paraguai e seus afluentes, sendo uma das maiores planícies de sedimentação do globo, sujeita a inundações periódicas que variam em intensidade, extensão e permanência (Silva e Abdon, 1998; Silva, 2002). A área de estudo (**Figura 1**) está situada entre as coordenadas 59°15'W e 22°10'S; e 54°50'W e 15°30', na porção centro-sul do Continente Sul-Americano, cobrindo uma área de aproximadamente 160 mil km², no qual 35,36% desse total estão no Estado do Mato Grosso e 64,64% no Estado do Mato Grosso do Sul.

Neste bioma há dois regimes hidrológicos sazonais distintos na área de estudo, sendo que de abril a setembro predomina a época seca, caracterizada por um baixo regime pluviométrico, e a partir de outubro predomina a época cheia, no qual ocorrem inundações periódicas, que variam de acordo com a intensidade e a duração das precipitações (Magalhães, 1992; Silva *et al.*, 2002). Esses contrastes ao longo do ano favorecem a alteração periódica espacial e temporal do albedo da superfície, da umidade do solo, da rugosidade e, conseqüentemente, da variabilidade dos processos físicos da atmosfera da região (Oliveira *et al.*, 2006).

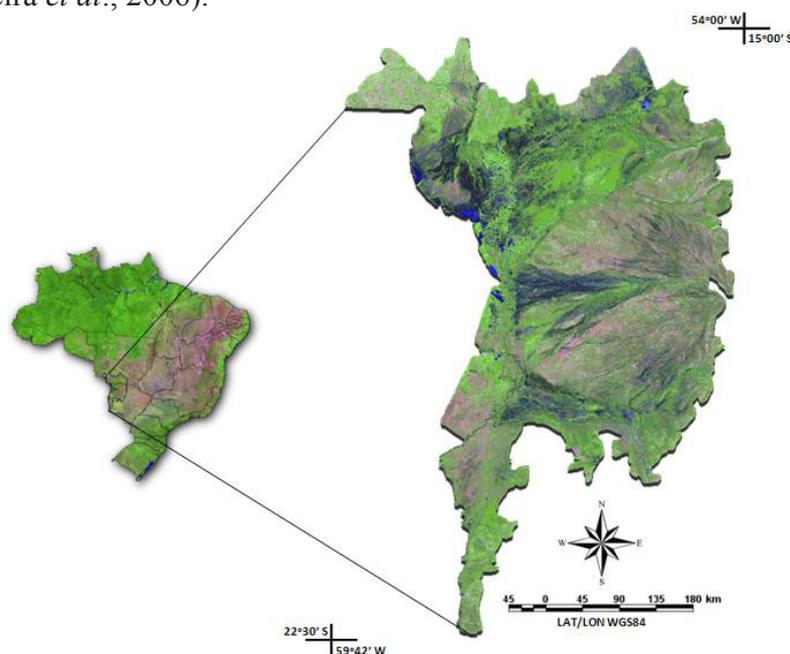


Figura 1. Mapa de localização do bioma Pantanal. Imagem do sensor MODIS de março de 2010, composição 1B 2G 6R.

O albedo da superfície é definido como a razão entre todo o fluxo solar por ela refletido sobre o fluxo nela incidente, ou seja, a reflectância integrada em toda a faixa do espectro solar. As alterações do albedo da superfície provocam mudanças no balanço de energia (saldo de radiação de ondas curtas e ondas longas, fluxos de calor latente e calor sensível). Portanto, as modificações nas características físico-químicas e biológicas da superfície influenciam significativamente o balanço de energia atmosférico, acarretando em variações no clima local e global (Pereira *et al.*, 2000; Ichoku e Kaufman, 2005). Quando o albedo da superfície aumenta, a energia solar disponível para o aquecimento da superfície e para a evaporação diminui (Dickinson, 1992; Betts e Ball, 1995).

Satélites ambientais são essenciais para a realização do monitoramento contínuo do Pantanal e, dentre seus produtos, a reflectância espectral ou total permite a caracterização das alterações naturais e bruscas na superfície. Segundo Pereira *et al.* (2007) através da reflectância fotossinteticamente ativa (PAR) e da reflectância no infravermelho próximo (NIR) e médio (SWIR) é possível a diferenciação de áreas alagadas e áreas queimadas, o que permite a combinação destes com o albedo para a melhor discriminação e delimitação das áreas inundadas. Diante disto, o objetivo deste trabalho é mapear as áreas alagadas do Pantanal, utilizando o albedo e as reflectâncias PAR e NIR/SWIR do produto MOD43B3 do sensor MODIS.

2. Material e Métodos

2.1 Produtos Utilizados

Neste trabalho foram utilizadas imagens do sensor MODIS referentes aos produtos MOD43B3 e MOD09GA. O sensor MODIS das plataformas Terra/Aqua possui órbita polar, ângulo de imageamento de aproximadamente 55°, altitude de 705 km e faixa imageada de 2330 km, cobrindo todo o globo. Os produtos da plataforma Terra recebem a sigla MOD, cruzando o Equador em sua órbita descendente às 10h30min e 22h30min; e os produtos da plataforma Aqua são denominados de MYD, e em sua órbita ascendente, cruza o Equador às 13h30min e 01h30min, obtendo-se, desta forma, aproximadamente 4 passagens diárias sobre uma mesma área (Justice *et al.*, 2002).

As imagens utilizadas no trabalho corresponderam aos *tiles* V10, V11 e H12, correspondentes aos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, englobando a área do bioma Pantanal em sua totalidade. O período analisado refere-se ao ano de 2000, que marca o início da aquisição dos dados do sensor MODIS até a presente data (julho de 2010), desta forma, as áreas alagadas foram mapeadas para um período de aproximadamente 11 anos.

Para a delimitação e classificação das áreas alagadas do bioma Pantanal foram utilizadas imagens referentes ao produto MOD43B3, que fornece os dados de albedo da superfície em duas condições: quando ocorre reflectância hemisférica direcional, ou seja, na ausência de um componente difuso e em função do ângulo zenital solar, e quando ocorre reflectância bi-hemisférica, quando há ausência de um componente direto e quando o componente difuso é isotrópico. O produto MOD43B3 tem sido amplamente validado desde sua concepção para vários tipos de superfícies (Coddington *et al.*, 2008; Shuai *et al.*, 2008). Salomon *et al.* (2006) comparou os dados estimados deste produto com oito experimentos de campo obtendo erros entre 6-10% na estimativa de albedo. Este produto

contém imagens a cada 16 dias referentes à Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), e a reflectância na faixa do Infravermelho próximo e médio (NIR/SWIR) com 1 km de resolução espacial.

Para a validação da classificação das áreas alagadas, foram utilizadas imagens do produto MOD09GA em conjunto com o Índice *Kappa*. O produto MOD09GA fornece a reflectância espectral da superfície como se fosse medida em campo na ausência da absorção e espalhamento da atmosfera, possuindo 7 bandas, passagem diária e resolução espacial de 500 metros e 1 km. Além disso, os períodos de alagamentos foram relacionados com a precipitação através dos dados de precipitação diária do sensor *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM).

2.2 Pré-Processamento e Classificação das Áreas Alagadas

O pré-processamento das imagens do sensor MODIS referente ao produto MOD43B3 foi realizado através da conversão dos dados em formato *Hierarchical Data Format* (HDF) para geotiff, utilizando-se para isso o aplicativo *MODIS Reprojection Tool* (MRT), onde foram realizados os mosaicos e o recorte da área de estudo.

Para classificar as áreas alagadas do Pantanal, além do albedo da superfície, foram utilizados como parâmetros a reflectância PAR e a reflectância NIR/SWIR. Os objetos terrestres possuem características físico-químicas e biológicas distintas, porém, muitos deles possuem valores de albedo semelhantes, portanto, o uso da reflectância PAR e NIR/SWIR foi de grande importância neste estudo, no qual foram evitados possíveis erros na classificação.

Sendo assim, as imagens do sensor MODIS em formato geotiff foram inseridas no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING). Neste software foi utilizada a Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), no qual foram definidos os valores utilizados de albedo ($7\% < \text{albedo} < 10\%$), reflectância PAR ($1\% < \text{PAR} < 9\%$) e NIR/SWIR ($9\% < \text{NIR} < 14\%$), essas informações foram cruzadas e posteriormente originou-se os mapas anuais das áreas alagadas do Pantanal no período compreendido entre 2000 e julho de 2010. Ainda neste aplicativo, foi realizada a álgebra de mapas das áreas alagadas nos anos analisados, gerando assim o mapa do número de eventos de alagamentos no qual foi possível inferir sobre a magnitude e a variabilidade dos eventos.

Posteriormente, foi realizada uma amostragem aleatória de 30 pontos ao longo do Pantanal para extrair os dados de precipitação diária do TRMM e para estimar a precipitação acumulada dos meses entre outubro e março (estação chuvosa). Estes valores foram analisados em conjunto com os dados das áreas alagadas ao longo dos 11 anos.

2.3 Validação da Classificação das Áreas Alagadas

A validação da classificação das áreas alagadas do Pantanal foi realizada a partir do Índice *Kappa* e do produto MOD09GA, referente à reflectância espectral da superfície. Assim como nas imagens do produto MOD43B3, as imagens do produto MOD09GA também passaram por uma etapa de pré-processamento, onde foram realizados os mosaicos e o recorte da área de estudo. Foi escolhida uma imagem representativa de cada ano, selecionadas na época chuvosa, para fazer a validação das áreas alagadas. As imagens utilizadas foram: 03/04/00, 14/04/01, 05/04/02, 15/04/03, 22/03/04, 05/03/05, 27/04/06, 27/03/07, 18/03/08, 17/04/09 e 08/03/10.

Após as etapas de seleção e pré-processamento das imagens, as mesmas foram inseridas no banco de dados do SPRING. A validação é realizada utilizando-se o programa ArcGis 9.3, na qual foram originados 100 pontos amostrais para cada ano, salvos no formato *Shapefile* e, posteriormente, inseridos no SPRING. A segunda etapa da validação foi realizada a partir de uma análise visual, em que se verificou a coincidência entre os elementos da cena e os mapas temáticos através da interpretação dos elementos chaves da imagem de satélite. O Índice *Kappa* forneceu a concordância entre os pontos aleatórios e a classificação realizada. A Figura 2 mostra o fluxograma da metodologia utilizada no trabalho.

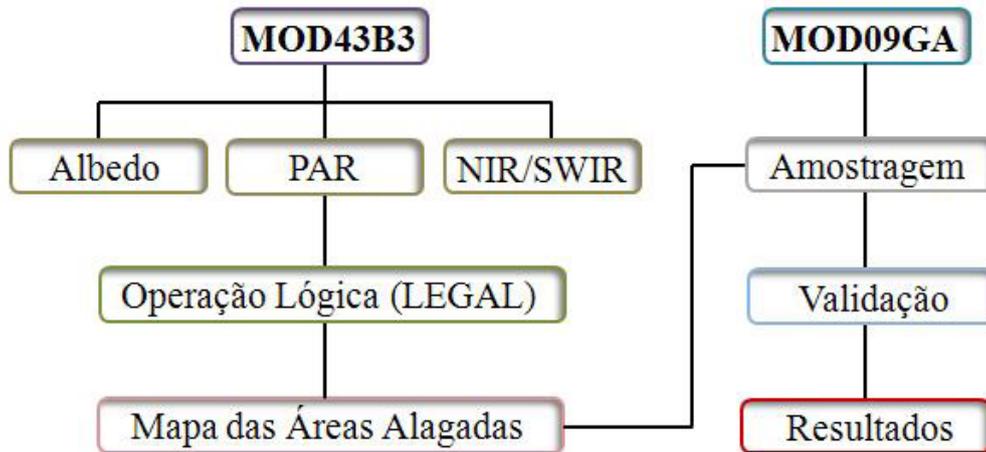


Figura 2. Fluxograma das atividades realizadas.

3. Resultados e Discussões

A **Figura 3** apresenta os mapas das áreas alagadas classificadas a partir do produto MOD43B3 do sensor MODIS, para o período de 2000 a junho de 2010. Verificou-se que as maiores áreas alagadas ocorreram no ano de 2000, seguidas de 2007, 2006 e 2008, possuindo 58.490 km², 55.250 km², 54.490 km² e 54.320 km², correspondendo a 36,55%, 34,53%, 34,05% e 33,95% da área total, respectivamente. O ano que apresentou as menores áreas alagadas foi o de 2009, com aproximadamente 25.016 km², correspondendo a 15,62% da área total.

O Pantanal apresenta grande dinâmica intra e interanual, e este fato pôde ser observado pela variação das inundações que ocorreram por todo o bioma entre os anos de menor e maior alagamento, correspondentes a 2000 e 2009, apresentando uma diferença de 57,26%. Analisando os anos consecutivamente nota-se que a maior variação ocorreu entre os anos de 2008 e 2009, com a variação relativa de 54% entre a área de 2008 e a área de 2009.

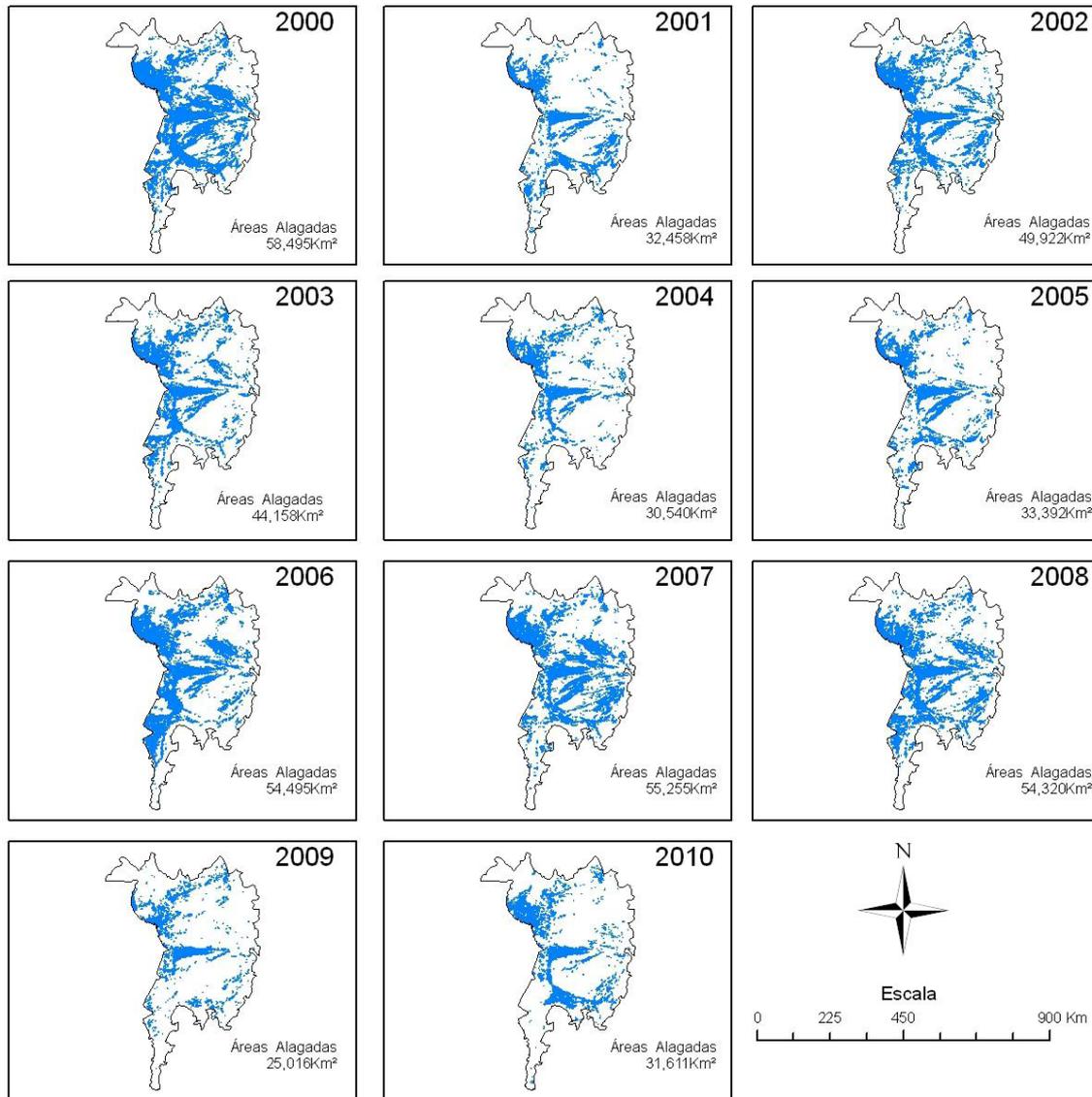


Figura 3. Mapas das áreas alagadas de 2000 a junho de 2010.

A **Figura 4** mostra a quantidade de eventos relacionados às inundações entre todos os anos analisados (4a) e duas figuras exemplificando a validação da classificação das áreas alagadas realizadas a partir das imagens de albedo e reflectância PAR e NIR/SWIR do produto MOD43B3 em 2000 (4b) e 2009 (4c). Na **Figura 4a**, a cor azul escuro representa áreas que foram constantemente alagadas entre 2000 e junho de 2010, representadas principalmente pela área do leque do rio Taquari por áreas ao norte do bioma. As demais áreas apresentaram variações na magnitude dos eventos periódicos de inundação, sendo que as áreas em vermelho apresentaram um menor número de eventos, ou seja, foram alagadas pelo menos uma vez durante os anos analisados.

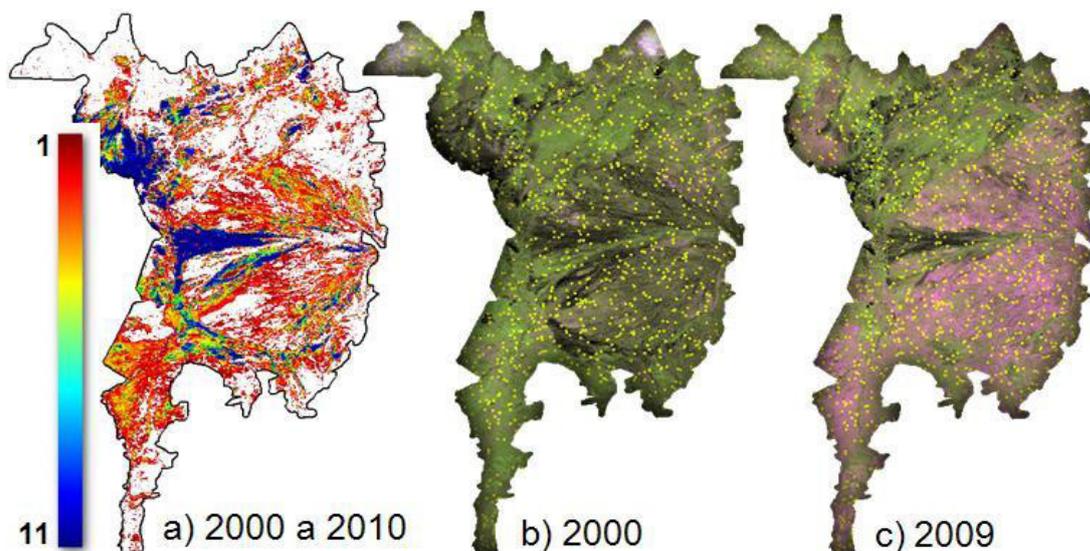


Figura 4. Imagem da quantidade de eventos relacionados às inundações no período de 2000 a junho de 2010 (a) e imagens do produto de reflectância da superfície do sensor MODIS com os pontos aleatórios amostrais de 2000 (b) e 2009 (c).

As **Figuras 4b** e **4c** representam as imagens de reflectância da superfície referentes ao produto MOD09GA do sensor MODIS, utilizadas como imagens referência para a validação da classificação de cada ano. A **Figura 4b** representa o ano 2000 (ano de maior alagamento) e a **Figura 4c** representa o ano de 2009 (ano com o menor número de áreas alagadas). Os pontos em amarelo nas duas figuras foram gerados aleatoriamente e comparados através de uma análise visual para verificar a precisão da classificação. Para as áreas classificadas obteve-se um índice *Kappa* de 90%.

A **Figura 5** representa a contribuição da precipitação acumulada entre os meses de outubro a março, para o período de 1999 a 2010, que representam o período chuvoso na área de estudo, e a variação anual das áreas alagadas. Nota-se no gráfico que a ocorrência das áreas alagadas apresenta uma relativa periodicidade, no qual um dos fatores que contribuiu para este comportamento está relacionado com a precipitação.

Os anos de 2001, 2004 e 2009 apresentaram uma quantidade menor de áreas alagadas, que demonstraram estar relacionadas com os anos de menor precipitação, exceto para o ano de 2009, no qual a quantidade de precipitação foi relativamente superior ao número de áreas alagadas. Também são observadas que os anos que apresentaram maiores áreas alagadas coincidem com os anos de maior precipitação, evidenciados principalmente nos anos de 2000, 2002, 2003 e 2005. Ainda, nos anos de 2006, 2007 e 2008 verificou-se que as áreas alagadas não foram proporcionais à quantidade de precipitação. Entre os fatos que podem relacionar a desproporcionalidade destes dados com a área alagada é a quantidade de precipitação que ocorreu anteriormente à época chuvosa. Desta forma, se o lençol freático estiver baixo ou mesmo a quantidade de água no solo não estiver saturada, para que haja um alagamento acentuado, deve-se primeiro saturar o solo.

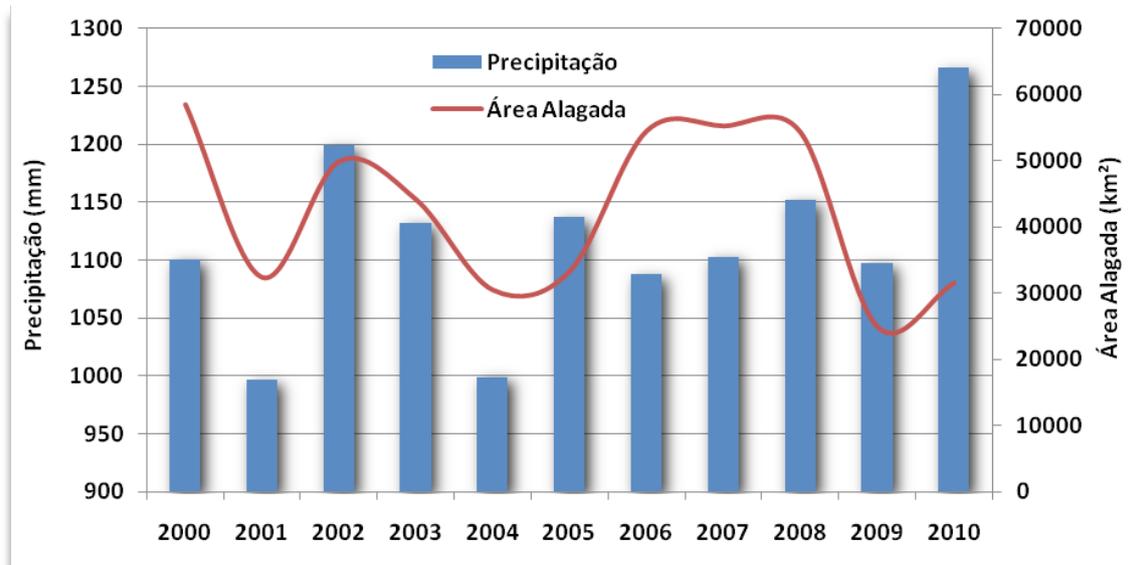


Figura 5. Contribuição pluviométrica acumulada de outubro a março e áreas alagadas anuais.

4. Conclusões

O Pantanal apresenta uma grande variabilidade intra e inter-anual, ocasionando mudanças expressivas na dinâmica da paisagem, principalmente relacionadas às inundações periódicas que ocorrem por todo o bioma. Assim, dados de sensoriamento remoto são de fundamental importância no entendimento dessas mudanças, pois fornecem uma grande gama de produtos que auxiliam na análise das variações ocorridas.

Dentre os produtos existentes, destaca-se o MOD43B3, referente ao albedo da superfície e à reflectância PAR e NIR/SWIR do sensor MODIS, que se mostrou muito eficiente na identificação das áreas alagadas do bioma Pantanal. Neste contexto, verificou-se que o maior número de áreas alagadas ocorreu no ano de 2000, representando 57,26% do total da área de estudo, e o menor número de áreas alagadas ocorreu no ano de 2009, representando 25% do total. A validação das áreas alagadas demonstrou que o método de classificação foi eficiente, obtendo uma acurácia de 90%. A análise da contribuição pluviométrica mostrou ser um dos fatores que influenciaram tanto na intensidade como no número de eventos relacionados às inundações da área de estudo.

Portanto, o entendimento de grandes sistemas como o bioma Pantanal torna-se de suma importância, servindo de subsídios para a modelagem ambiental, já que está relacionado a diversos fatores, tais como a dinâmica climática, a mudança no uso e ocupação da terra e, conseqüentemente, às alterações ambientais. Desta forma, torna-se necessário o monitoramento de áreas de grande variabilidade como o Pantanal, podendo-se inferir que o uso de produtos, como, por exemplo, referentes ao albedo da superfície, podem contribuir significativamente para o entendimento relacionado não só à variação dinâmica que ocorre no bioma, mas também ao entendimento das mudanças no clima local.

4. Referências

Betts, A.J.; Ball, J. H. The FIFE surface diurnal cycle climate. **Journal of Geophysical Research**, v. 100, n. D12, p. 25679-25693, 1995.

- Coddington, O.; Schmidt, K. S.; Pilewskie, P.; Gore, W. J.; Bergstrom, R. W.; Román, M.; Redemann, J.; Russell, P. B.; Liu, J.; Schaaf, C. C. Aircraft measurements of spectral surface albedo and its consistency with ground-based and space-borne observations, **J. Geophys. Res.**, v. 113, p. D17209, doi:10.1029/2008JD010089, 2008.
- Dickinson, R. E. Changes in land use. In: Trenberth, K. E. **Climate System modelling**. New York: Cambridge University Press, p. 689-701. 1992.
- Hartmann, D. L. **Global Physical Climatology**, Academic Press, 1994, 411p.
- Ichoku, C.; Kaufman, Y. J. A method to derive smoke emission rates from MODIS fire radiative energy measurements. **IEEE Trans. Geosc. and Rem. Sens.**, v. 43, n. 11, p. 2636-2649, 2005.
- Justice, C. O.; Giglio, L.; Korontzi, S.; Owens, J.; Mrisette, J.; Roy, D.; Descloitres, J.; Alleaume, S.; Petitcolin, F.; Kaufman, Y. The MODIS fire product. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 244-262, 2002.
- Magalhães, N. W. **Conheça o Pantanal**. São Paulo: Terragraph, 390p., 1992.
- Oliveira, M. B. L.; Randow, C.; Manzi1, A. O.; Alvalá, R. C. S.; Sá, L. D. A.; Leitão, M. M.; Souza, A. Fluxos Turbulentos de Energia sobre o Pantanal Sul Matogrossense. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3b, 371-377, 2006.
- Pereira, E. B., Martins, F. R., Abreu, S. L., Couto, P., Stuhlmann, R.; Colle, S. Effects of burning of biomass on satellite estimations of solar irradiation in Brazil. **Solar Energy**, 68 (1): 91-107, 2000.
- 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.
- Salomon, J.; Schaaf, C. B.; Strahler, A. H.; Gao, F.; Jin, Y. Validation of the MODIS Bidirectional Reflectance Distribution Function and Albedo Retrievals Using Combined Observations from the Aqua and Terra Platforms, **IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.**, v. 44 (6), p. 1555-1565, 2006.
- Silva, J. S. V; Abdon, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas subregiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 33. n. especial, p. 1703-1711, out. 1998.
- Silva, R. C. **Estudo do Balanço de Radiação no Pantanal Sul Matogrossense**. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 213 p. 2002.
- Silva, R. C.; Alvalá, R. C. S.; Manzi1, A. O.; Souza, A. **Estimativa da radiação de onda longa atmosférica no Pantanal Sul-Matogrossense durante o período seco de 1999**. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 2002.
- Shuai, Y.; Schaaf, C. B.; Strahler, A. H.; Liu, J.; Jiao, Z. Quality assessment of BRDF/albedo retrievals in MODIS operational system, **Geophys. Res. Lett.**, v. 35, p. L05407, doi:10.1029/2007GL032568, 2008.