

Uso dos sensores WFI/CBERS-2B e MODIS/AQUA no estudo das áreas inundáveis no Pantanal

Vinícius Battistelli Lemos¹
Antônio Conceição Paranhos Filho¹
Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida²
Natasha Costa Penatti²

¹ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS
Caixa Postal 549 - 790710-900 - Campo Grande - MS, Brasil
viniciusblemos@gmail.com; toniparanhos@gmail.com

² Universidade de São Paulo - USP
Rua do Lago, 209 - Caixa Postal 6041 - 05508-080 - São Paulo - SP, Brasil
nat.bio@gmail.com; talmeida@usp.br

Abstract. The Pantanal is one of the largest sedimentary plains in the world, with periodic flooding. The aim of this work is use the China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS-2B), with the Wide Field Imager (WFI) Camera for detecting and estimating the areas with inundation, studying the flooding dynamics of the Pantanal. The results were obtained with the composition of the bands 1 and 2 of WFI camera, and a third band made with Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). For validation of the data obtained with WFI, a set of MODIS images have been obtained and processed with the same methodology. The comparison between WFI and MODIS demonstrates that for this case, are practically the same, with some differences in the amount of areas, probably caused by cloud interference. But the regularity of MODIS images is better for an study like this, because expands the possibilities of obtain more images with no cloud cover. The Pantanal floodings are cyclic, with some differences between the different Pantanals. The floods in northern part occurs at the end and beginning of the years. And in the southern part, the floods occurs in the half of the years. All this work were run with free software, like gvSIG, Quantum GIS and SPRING.

Keywords: Pantanal, WFI, MODIS .

1. Introdução

A planície inundável do Pantanal é a maior da América do Sul, cobrindo aproximadamente 138.000 km² (Latitudes 15° 30' e 22° 30' Sul e longitudes 54° 45' e 58° 30' Oeste), fazendo parte da bacia hidrográfica do Alto Paraguai, ocupando parte do oeste do Brasil, leste do Paraguai e da Bolívia (SILVA; ABDON, 1998). Devido a sua pouca variação altimétrica (de 80 a 150 metros de altitude) apresenta a característica particular de suas cheias anuais ocorrem pelo extravasamento dos leitos dos rios, inundando a planície, que seca quando o rio volta ao volume normal. Grandes áreas são inundadas, provocando o deslocamento da fauna e resultando em adaptações na flora (ABDON et al., 2001).

Os processos ecológicos, a distribuição e abundância da fauna e flora e a produtividade da pecuária e pesca do Pantanal dependem do regime de inundações, portanto seu entendimento é fundamental para o manejo e conservação (RESENDE, 2008). As adaptações provocadas pela sazonalidade são detectadas por sensoriamento remoto, como demonstram os estudos realizados por Dantas et al. (2009), utilizando dados coletados através da emissão passiva de microondas a 37 GHz pelo SMMR (*Scanning Multichannel Microwave Radiometer*). Cardozo et al. (2009) estudaram a discriminação de áreas alagadas no Pantanal, utilizando imagens Landsat-5/TM e MODIS, ao aplicar o índice NDWI (*Normalized Difference Water Index*). Também

Tabela 1: Comparação entre os satélites CBERS-2B, CBERS-3 e AQUA.

	<i>CBERS – 2B/WFI</i>	<i>CBERS – 3/WFI</i>	<i>AQUA/MODIS</i>
Bandas Espectrais	0,63 – 0,69 μm (R) 0,77 – 0,89 μm (NIR)	0,45 – 0,52 μm (B) 0,52 – 0,59 μm (G) 0,63 – 0,69 μm (R) 0,77 – 0,89 μm (NIR)	0,62 – 0,670 μm (R) 0,84 – 0,87 μm (NIR)
Largura da faixa imageada	890 km	866 km	2330 km
Resolução espacial	260 m	73 m	250 m
Resolução temporal	5 dias	5 dias	1 a 2 dias

utilizando imagens MODIS, Padovani et al. (2009) estudaram as inundações no Pantanal em região próxima a Ladário, aferindo que uma série temporal de imagens do sensor MODIS é uma ferramenta útil para o monitoramento quantitativo das inundações do bioma. Antunes e Esquerda (2007) realizaram estudo utilizando imagens AVHRR-NOAA para monitorar toda a planície pantaneira.

Estudo semelhante foi realizado na bacia Amazônica, por Silva et al. (2009) através de imagens MODIS do satélite Terra, ao avaliar as superfícies inundáveis no lago Curupira. Hayakawa et al. (2009) estudaram a planície de inundação do Alto Rio Paraná, utilizando imagens Landsat-5/TM, comparando a eficiência da classificação supervisionada e não supervisionada, encontrando resultados semelhantes entre as duas classificações.

Apesar do potencial apresentado pelas imagens de sensoriamento remoto no monitoramento de áreas inundáveis, o uso destas é restrito devido a baixa disponibilidade de imagens livres de nuvens. Esta restrição é agravada quando são utilizadas imagens de resolução espacial moderada, como por exemplo imagens Landsat/ETM ou CBERS/CCD. O agravamento é devido as resoluções espaciais serem acompanhadas por baixas resoluções temporais, com períodos de revisita de 16 dias para o sensor ETM, e de 26 dias para o CCD. Utilizar imagens com baixa resolução espacial, que possuem melhor resolução temporal, pode elevar a probabilidade de encontrar imagens sem nuvens. Portanto o uso de imagens WFI, tanto as do CBERS-2B, quanto as do futuro CBERS-3 pode ser efetiva.

Fruto da parceria entre o Brasil e a China, em 2007 foi lançado o satélite CBERS-2B, contendo 3 sensores: uma câmera imageadora de amplo campo de visada (WFI), uma câmera de média resolução (CCD) e uma câmera de alta resolução (HRC) (GOUVêA; FONSECA, 2009). Porém, o satélite CBERS-2B encerrou suas operações em abril de 2010, quando os centros de controle brasileiro e chinês não conseguiram mais estabelecer contato com o satélite. Em seus três anos de funcionamento, o CBERS-2B gerou aproximadamente 11.000 imagens com sua câmera WFI. Há a previsão para que no segundo semestre de 2011 ocorra o lançamento do satélite CBERS-3 (INPE, 2010), o qual terá um melhoramento em sua câmera WFI (MAEDA et al., 2008), conforme comparativo na Tabela 1.

Também podem ser utilizadas imagens do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectrometer*) lançado a bordo dos satélites TERRA, em 1999, e AQUA em 2002. Já foram realizados estudos de comparação entre a eficiência das imagens WFI e MODIS, para o monitoramento do material em suspensão na Foz do Rio Amazonas, chegando a resultados com significância relativamente alta (MOLLERI et al., 2007). Portanto, com o objetivo de também comparar a eficiência na determinação de áreas inundáveis, foram testadas imagens dos dois satélites no Pantanal.

Os objetivos deste trabalho são avaliar a utilização de imagens CBERS, sensor WFI para detecção de áreas inundáveis no Pantanal, aplicando a mesma metodologia em imagens MODIS, do satélite AQUA para certificar os resultados, e verificar se a onda de cheia no Pantanal é detectável através de sensoriamento remoto.

2. Metodologia de Trabalho

Entre 2003 e 2009, considerando a órbita 165 e pontos 116 e 124, foram produzidas 36 imagens pelo satélite CBERS-2, e 63 pelo satélite CBERS-2B. Utilizando a ferramenta de download integrada ao software Quantum GIS, foram escolhidas 16 imagens, para compor 8 cenas, conforme a Tabela 2. Neste trabalho não foram utilizadas imagens do satélite CBERS-2. Com os resultados da busca pelas imagens WFI, foi levantada a cota do Rio Paraguai nos dias correspondentes, conforme a régua da Marinha de Ladário. Com as datas das imagens WFI, utilizando a ferramenta *USGS Global Visualization Viewer* foram obtidas mais 16 imagens (2 para cada data) e que estivessem o mais próximo possível das imagens WFI, e com cobertura mínima de nuvens. Estas imagens foram então reprojetaadas para UTM, Zona 21, Datum WGS84, reamostradas, mosaicadas e recortadas para a área de interesse utilizando o *software Modis Reprojection Tool*, em sua versão para Linux. Para confirmar os estudos com a onda de cheia, posteriormente foram obtidas mais 24 imagens MODIS entre Junho de 2008 e Julho de 2009 conforme Tabela 3.

No SPRING 5.1.6 (CAMARA et al., 1996), as imagens WFI foram mosaicadas. Em seguida foi calculado o índice *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), escolhido para complementar as composições das imagens, pela característica de ressaltar os locais onde ocorre vegetação (GOETZ et al., 1999). A combinação entre a resposta espectral da água para a banda do infravermelho próximo (Banda 2 no sensor WFI) e o NDVI produz um resultado característico para as áreas inundadas, que pode ser detectado pela classificação não supervisionada.

Feita a composição com a banda 1 no vermelho, banda 2 no verde e NDVI no azul, foi aplicada uma equalização do histograma de cores para facilitar a classificação - Figura 1. No gvSIG 1.10 beta as imagens WFI foram georeferenciadas. Utilizando um arquivo shapefile com o contorno do Pantanal determinado pelo programa Probio as imagens foram recortadas para permitir uma comparação entre as áreas determinadas. Posteriormente foi realizada a classificação não supervisionada, configurada para identificar 6 classes diferentes, e a vetorização do resultado. Determinado qual componente do arquivo shapefile oriundo da vetorização era referente a área inundada, este era exportado para um arquivo shapefile diferente, e sua área calculada.

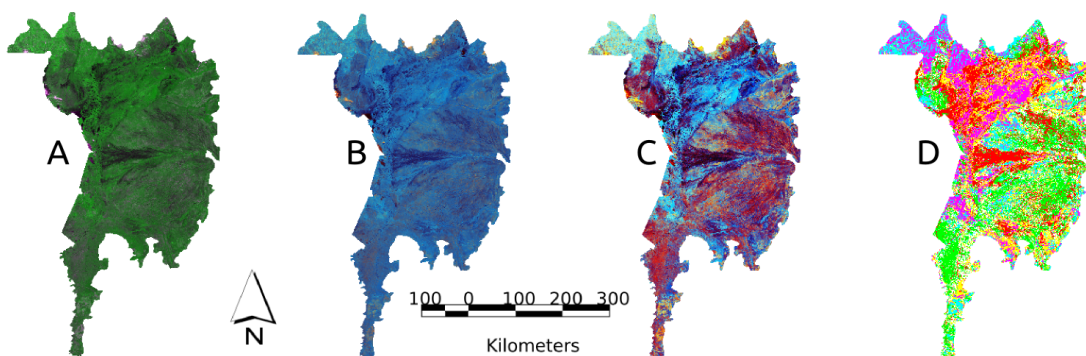


Figura 1: (A) Imagem WFI Composição R - Banda 1, G - Banda 2, B - Banda 1; (B) Composição R - Banda 1, G - Banda 2, B - NDVI; (C) Composição B equalizada (D) Produto da classificação não supervisionada no gvSIG.

3. Resultados e Discussão

O uso das imagens CBERS 2 e 2B, sensor WFI mostrou-se satisfatório para a estimativa das áreas inundadas, pois sua resolução temporal permitiu encontrar imagens próximas aos picos máximo e mínimo de vazão do rio Paraguai, e também encontrar imagens com diferença

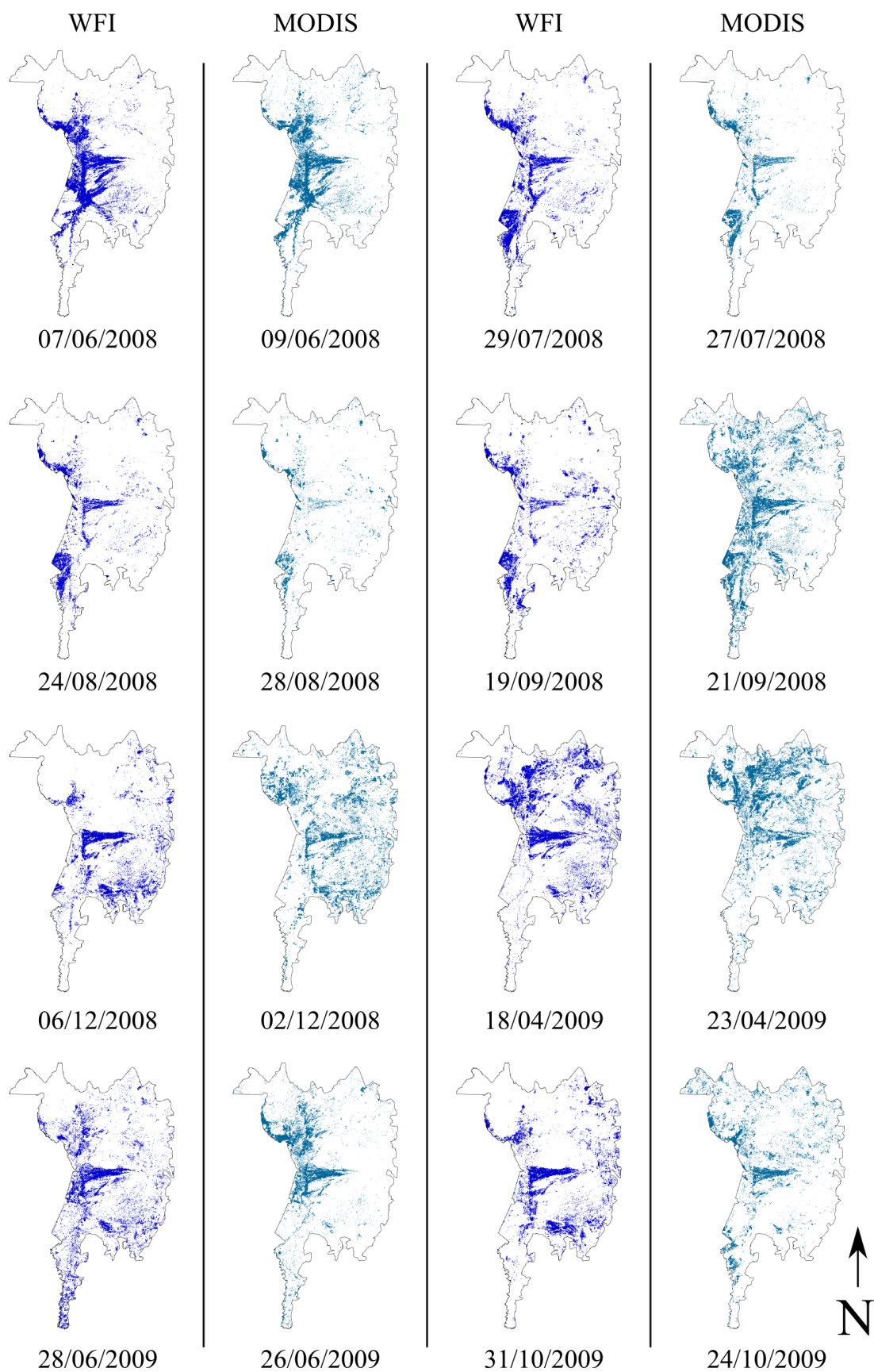


Figura 2: Áreas inundadas detectadas nas imagens CBERS/WFI e MODIS, em 2008 e 2009.

reduzida entre seus dias de visada. A resolução espacial moderada permite a montagem do mosaico do Pantanal utilizando apenas duas cenas, o que poupa tempo nas análises e acelera o processamento das imagens. Após o lançamento do satélite CBERS-3, as imagens WFI podem ser utilizadas para continuar este tipo de monitoramento, de maneira até mais eficiente devido a melhor resolução espectral prevista para o sensor e maior número de bandas disponíveis.

O número de imagens MODIS disponíveis para análise foi bem maior, em comparação com as CBERS, por apresentar resolução temporal de 1 a 2 dias. A grande quantidade de imagens disponíveis, e a comodidade de já se encontrarem georreferenciadas e ortoretificadas, aliado a confiabilidade do satélite tornam as imagens MODIS ideais para um estudo mais aprofundado das ondas de cheia no Pantanal.

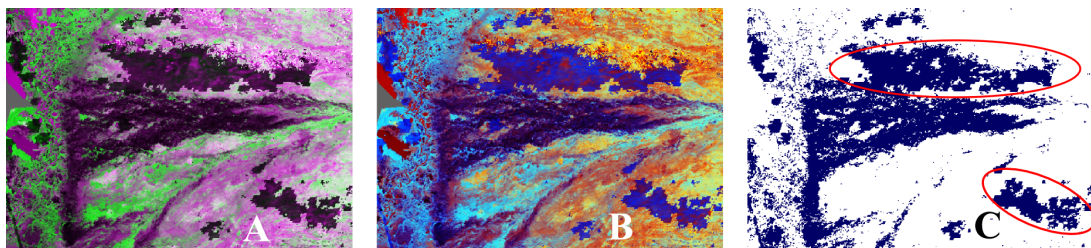


Figura 3: Exemplos de imagens MODIS: (A) Composição R - Banda 1, G - Banda 2, B - Banda 1; (B) Composição com a Banda 1, 2 e NDVI, e histograma equalizado; (C) Exemplo de interpretação errônea: as áreas dentro dos círculos vermelhos não deveriam ser classificadas como inundáveis.

A comparação efetuada entre as imagens CBERS/WFI e MODIS demonstra que são equivalentes no levantamento das áreas inundadas através desta metodologia, pois as maiores diferenças encontradas devem-se principalmente a presença de nuvens nas imagens. Um problema encontrado nas imagens MODIS se deve a falsa interpretação de algumas classes, durante a classificação, como mostrado na Figura 3. Onde nota-se surgir o que aparentemente são indícios dos locais onde haveriam nuvens. Isso provavelmente se deve pela forma como as imagens MODIS, produto MYD09Q1 são coletadas, com a escolha das melhores cenas capturadas durante 8 dias, para só então compor o produto final de reflectância da superfície (LP-DAAC, 2010). Tais erros de classificação não foram corrigidos manualmente.

Tabela 2: Comparativo entre as imagens WFI/CBERS-2B e MODIS/AQUA.

Data WFI	Dias de diferença	Cota do rio Paraguai (cm)	% de área inundada	Data MODIS	% de área inundada
07/06/2008	0	514 (Pico de cheia)	13,59	09/06/2008	13,58
29/07/2008	52	470	10,90	27/07/2008	6,41
24/08/2008	26	419,5	7,54	28/08/2008	4,33
19/09/2008	26	346,5	8,55	21/09/2008	18,73
06/12/2008	78	105,5 (Pico de seca)	10,63	02/12/2008	15,90
18/04/2009	133	221	16,44	23/04/2009	18,24
28/06/2009	71	304	13,66	26/06/2009	10,35
31/10/2009	125	146	11,37	24/10/2009	10,23

Conforme a Tabela 2 pode-se verificar que a porcentagem de áreas inundadas em todo o Pantanal sofre pequena variação durante o ciclo, pois o fluxo determinado para a vazante,

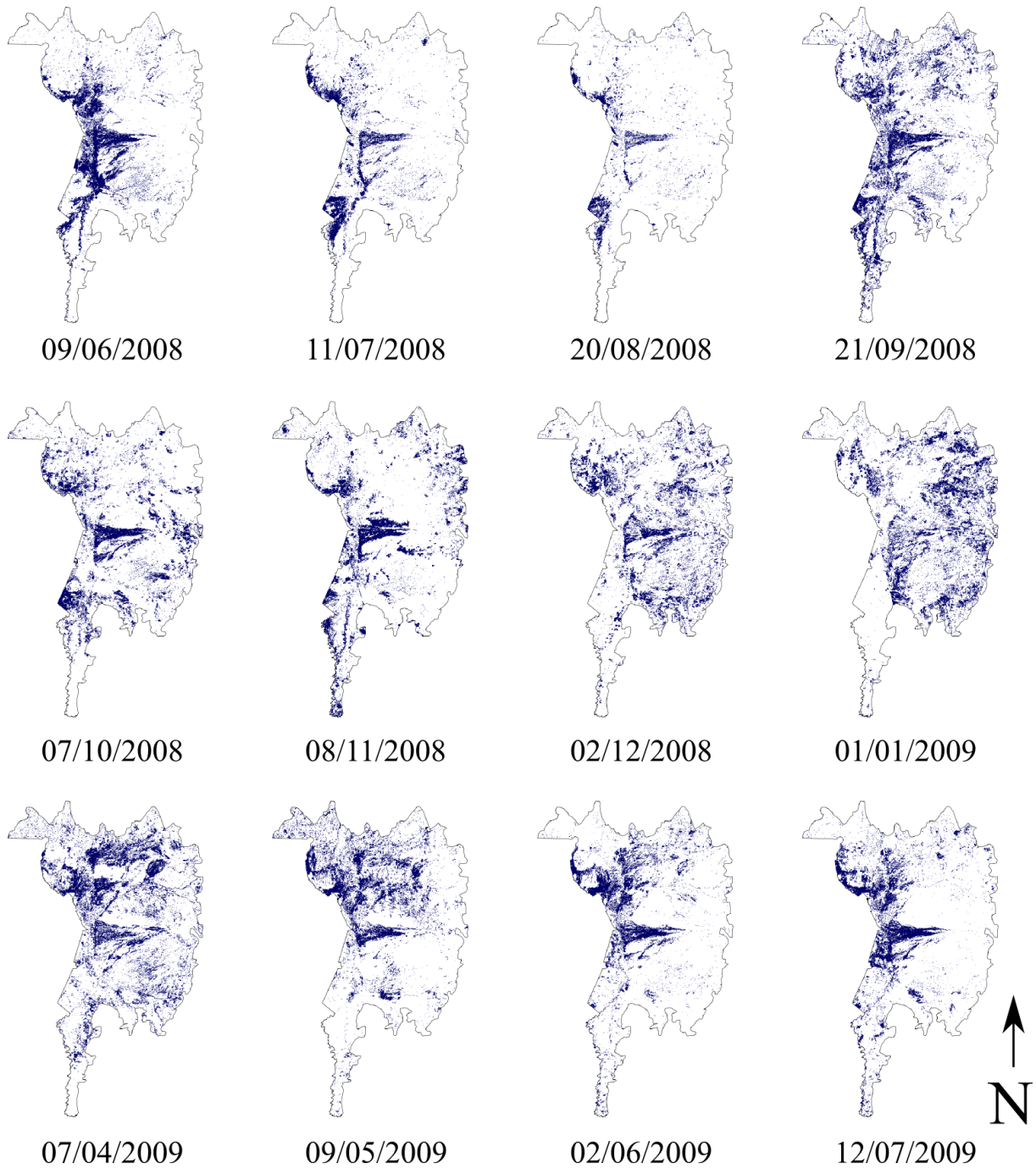


Figura 4: Áreas inundadas detectadas nas imagens MODIS, em 2008 e 2009.

de nordeste para sudoeste provoca um equilíbrio no valor das áreas. Isso também explica porque não há relação aparente entre a cota do Rio Paraguai e as áreas determinadas, quando levado em conta toda a área pantaneira. Entre o final do 2º semestre de 2008 e início do 1º semestre de 2009, o norte e o noroeste do Pantanal são as regiões com maior concentração de áreas inundadas, e no início do 2º semestre de 2008, e final do 1º semestre de 2009 estas são concentradas na região central e sudoeste. As imagens com maior diferença na área inundada detectada, comparando as imagens WFI e MODIS foram as de 19 e 21 de setembro de 2008, e as de 6 e 2 de dezembro. Muito provavelmente essa diferença se dê pela presença de nuvens, pois este é o período com maiores valores de precipitação no ano. A ausência de imagens em outubro e novembro de 2008, e em janeiro, fevereiro e março de 2009 prejudica o acompanhamento sequencial da onda de cheia, então foram processadas as 12 imagens MODIS, conforme Tabela 3, para minimizar os problemas referentes a diferença nas datas das imagens. Como pode-se observar na Figura 4, estas imagens confirmam a evolução da onda de cheia detectada a partir das imagens WFI.

Tabela 3: Evolução da onda de cheia determinada a partir de imagens MODIS.

Data	Dias de diferença	Cota do rio Paraguai (cm)	% de área inundada
09/06/2008	0	514	13,58
11/07/2008	32	497	9,12
20/08/2008	40	430	5,58
21/09/2008	32	338	18,72
07/10/2008	16	267	14,63
08/11/2008	32	154	13,66
02/12/2008	24	111,5	15,90
01/01/2009	30	107	17,94
07/04/2009	96	216	20,15
09/05/2009	32	238	15,43
02/06/2009	24	268	12,26
12/07/2009	40	321	12,89

As inundações, conforme se infere das figuras, e em concordância com o determinado por Antunes e Esquerda (2007) ocorrem no sentido de leste para oeste, e norte para sul, com a variação dos períodos de seca e cheia em cada região da planície. Como pode-se observar na Figura 2 a planície aluvial do rio Taquari permanece inundada durante todo o ano, e sua área reflete o valor da cota do rio. A região norte do Pantanal permanece com grande parte inundada em 21/09/2008, 02/12/2008 e 18 e 23/04/2009, o que corresponde a época com maior concentração de chuvas. Na parte oeste do Pantanal ocorre o inverso, apresentando menor concentração de áreas inundadas durante os meses chuvosos.

Pode-se então concluir que as imagens WFI podem ser utilizadas para determinação das áreas inundáveis do Pantanal, e que, tanto por imagens WFI, como por imagens MODIS, a onda de cheia pode ser determinada por sensoriamento remoto.

Referências

ABDON, M. de M. et al. Alterações na cobertura vegetal causadas por inundações do rio taquari, pantanal, brasil. In: *Anais X SBSR*. Foz do Iguaçu, Brasil: INPE, 2001. p. 1481–1489.

ANTUNES, J. F. G.; ESQUERDA, J. C. D. M. Geração automática de produtos derivados de imagens avhrr-noaa para monitoramento de áreas inundáveis do pantanal. *Revista*, v. 59/01, p. 115–122, Abril 2007.

CAMARA, G. et al. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395–403, May-Jun 1996. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/spring.pdf>>.

CARDOZO, F. da S. et al. Discriminação de áreas alagadas no pantanal sul-matogrossense a partir de imagens orbitais. In: *Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*. Corumbá, Brasil: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. p. 99–106.

DANTAS, M. S. et al. Análise espectral de dados smmr para estudo de padrões de inundação do pantanal. In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, Brasil: INPE, 2009. p. 4701–4706.

GOETZ, S. J. et al. Satellite remote sensing of primary production: an improved production efficiency modeling approach. *Ecological Modelling*, v. 122, n. 3, p. 239 – 255, 1999. ISSN 0304-3800. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VBS-3XK78R8-8/2/d87b26e9019937c78bee7d9c156ae39c>>.

GOUVÊA Érica J. C.; FONSECA, L. M. G. Avaliação da qualidade radiométrica das imagens do satélite cbers-2b. In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, Brasil: INPE, 2009. p. 2041–2048.

HAYAKAWA, E. H. et al. Avaliação multitemporal da planície de inundação do alto rio paraná (região de porto rico - pr) através de classificação supervisionada e não supervisionada de imagens landsat-5/tm. In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, Brasil: INPE, 2009. p. 5865–5872.

INPE. Comitê sino-brasileiro anuncia o fim das operações do satélite CBERS-2B. Maio 2010. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/noticias/comite_noticia.html>.

LP-DAAC, L. P. D. A. A. C. *Surface Reflectance 8-Day L3 Global 250m*. Outubro 2010. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products_table/surface_reflectance/8day_l3_global_250m/myd09q1>.

MAEDA, E. E. et al. Evaluation of the potentiality of wfi/cbers-3 sensor data for land use and land cover classification. *Revista Brasileira de Cartografia*, INPE, Florianópolis, Brasil, v. 60/01, p. 79–87, Abril 2008.

MOLLERI, G. S. F. et al. Comparação entre as respostas espectrais dos sensores modis/terra e wfi/cbers-2 para o monitoramento do material em suspensão na foz do rio Amazonas. In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Florianópolis, Brasil: INPE, 2007. p. 977–984.

PADOVANI, C. R. et al. Estudo das inundações do pantanal a partir de imagens modis. In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, Brasil: INPE, 2009. p. 4805–4812.

RESENDE, E. K. de. *Pulso de inundação - Processo Ecológico Essencial à vida no Pantanal*. Corumbá: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal, 2008. Disponível em: <<http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/DOC94.pdf>>.

SILVA, J. dos Santos Vila da; ABDON, M. de M. Delimitação do pantanal brasileiro e suas sub-regiões. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 33, Número Especial, p. 1703–1711, Outubro 1998.

SILVA, J. S. da et al. Avaliação de superfícies inundáveis em zonas úmidas da bacia amazônica por meio de dados espaciais. In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Natal, Brasil: INPE, 2009. p. 4883–4890.