

Discriminação de áreas alagadas no Pantanal sul-matogrossense a partir de imagens orbitais

Francielle da Silva Cardozo¹
Gabriel Pereira¹
Gustavo Bayma Siqueira da Silva¹
Fabrício Brito Silva¹
Yosio Edemir Shimabukuro¹
Elisabete Caria Moraes¹

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

Resumo. O índice de vegetação *Normalized Difference Water Index* (NDWI) é relacionado com o conteúdo de água presente nas folhas, podendo ser adquirido pela combinação de bandas dos satélites orbitais. O Pantanal é uma das maiores planícies de sedimentação sujeita a inundações do mundo, os quais determinam alagamentos periódicos. Sendo assim, foi utilizado o índice NDWI para identificar as áreas alagadas no Pantanal Sul-Matogrossense correspondente à órbita-ponto 226-73 do satélite Landsat. Foram utilizadas imagens do sensor TM/Landsat-5 dos dias 26/03/2007 (estação chuvosa) e 05/07/2009 (estação seca), e imagens do sensor MODIS/Terra dos dias 27/03/2007 e 06/07/2009. Para a elaboração do índice NDWI foram selecionadas as bandas 4 e 5 do sensor TM e as bandas 2 e 7 do sensor MODIS. Os resultados mostraram que os valores de NDWI de ambos os sensores foram estimados diferentemente, superestimando as áreas correspondentes aos cursos d'água ou áreas alagadas nas épocas de estação seca. Além disso, os valores de NDWI para áreas de savanas apresentaram valores altos em épocas chuvosas, diminuindo em épocas secas; as áreas dos cursos d'água apresentaram valores baixos em épocas chuvosas, aumentando em épocas secas; e as áreas de vegetação que acompanham a rede de drenagem apresentaram valores intermediários em ambas as estações. Por fim, notou-se que o sensor TM se mostrou um pouco mais eficaz na identificação das áreas alagadas do que o sensor MODIS devido as suas características espaciais e espectrais.

Palavras-chave: *Normalized Difference Water Index* (NDWI), áreas inundadas, satélites orbitais.

Abstract. *The Normalized Difference Water Index (NDWI) is a vegetation index related to the water content in the leaves, obtained by combining bands of orbital satellites. The Pantanal is one of the largest sedimentary plains of floodplain in the world, with periodic flooding. Thus, the NDWI was used to identify the flooded areas in the Pantanal region corresponding to the Landsat 226-73 path-row. TM/Landsat-5 images from 27/03/2007 (wet season) and 06/07/2009 (dry season), and MODIS/Terra images from 27/03/2007 and 06/07/2009 were used in this work. To develop NDWI index were used bands 4 and 5 from TM sensor and bands 2 and 7 from MODIS sensor. The results showed that the sensors estimated differently the NDWI values, overestimating the areas corresponding to water courses or wetlands in periods of dry season. Moreover, the NDWI values of savanna areas showed higher values during rainy season, decreasing during the dry period; areas of the water courses showed low values during wet season, increasing during dry periods; and the areas of vegetation close to the water courses showed intermediary values in both seasons. Finally, it was noted that the TM sensor showed somewhat more effective in identifying wetlands than the MODIS sensor due to their spatial and spectral characteristics.*

Key-words: *Normalized Difference Water Index (NDWI), wetlands, orbital satellites.*

1. Introdução

Índices de Vegetação (IVs) vem sendo propostos na literatura com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação. As imagens dos IVs são originadas da operação de bandas que envolvem a razão de valores (digitais, de refletância ou de radiância) de duas bandas espectrais de uma mesma cena, geralmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. Desta forma, os índices espectrais se relacionam com os parâmetros biofísicos da cobertura vegetal e minimizam os efeitos de iluminação na cena, da declividade da superfície e da geometria de aquisição. Sendo assim, utiliza-se a operação de bandas pela simplicidade na sua implementação e na interpretação dos resultados (Shimabukuro et al., 1995; Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

O índice de vegetação *Normalized Difference Water Index (NDWI)*, proposto por Gao (1996), é relacionado com o conteúdo de água presente nas folhas. Este índice é importante nos estudos referentes ao vigor vegetativo e pode ser adquirido pela combinação de bandas dos satélites orbitais. Quando comparado com o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), a vantagem da utilização NDWI está na menor sensibilidade aos efeitos atmosféricos. Este índice utiliza duas bandas do infravermelho próximo, centradas aproximadamente em $0,86\mu m$ e $1,24\mu m$, e de forma similar ao NDVI é definido como:

$$NDWI = \frac{\rho(0,86\mu m) - \rho(1,24\mu m)}{\rho(0,86\mu m) + \rho(1,24\mu m)}$$

onde: ρ é a refletância aparente.

Muitos autores utilizaram o índice NDWI em seus estudos, entre eles, podem-se citar: Fensholt e Sandholt (2003), que monitoraram o estresse hídrico em ambiente semi-árido; Jackson et al. (2004), que estimaram a quantidade de água nas classes de culturas anuais de milho e soja; Boles et al. (2004), que caracterizaram diferentes tipos de vegetação e a cobertura do solo; e Delbart et al. (2005), que desenvolveram uma metodologia de monitoramento da fenologia de vegetação da Floresta Boreal.

O Pantanal é uma das maiores planícies de sedimentação sujeita a inundações do mundo, drenada pelo alto curso do rio Paraguai e seus afluentes, sendo cortada por numerosos rios, vazantes e corixos, os quais determinam alagamentos periódicos, que variam em intensidade, em extensão e em permanência (Silva e Abdon, 1998; Silva, 2002). As épocas secas no Pantanal ocorrem de abril a setembro, e a partir de outubro predominam as épocas de cheias, que variam de acordo com a intensidade e a duração das precipitações (Magalhães, 1992; Silva et al., 2002).

2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é verificar a potencialidade da discriminação de áreas alagadas no Pantanal sul-mato-grossense através do índice NDWI, tendo como local de estudo a área correspondente à órbita-ponto 226-73 do sensor TM do Landsat.

3. Material e Métodos

Para a criação do banco de dados foi utilizado o sistema de informações geográficas (SIG) denominado Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING) desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Câmara et al., 1996).

O NDWI foi gerado a partir de duas imagens dos sensores TM/Landsat-5 (226/73) e MODIS/Terra. As imagens do TM foram referentes aos dias 26 de março de 2007 (**Figura 1a**), (época de estação chuvosa na região), e 05 de julho de 2009 (**Figura 1b**), (época de estação seca na região). As imagens MODIS foram referentes aos dias 27 de março de 2007 e 06 de julho de 2009.

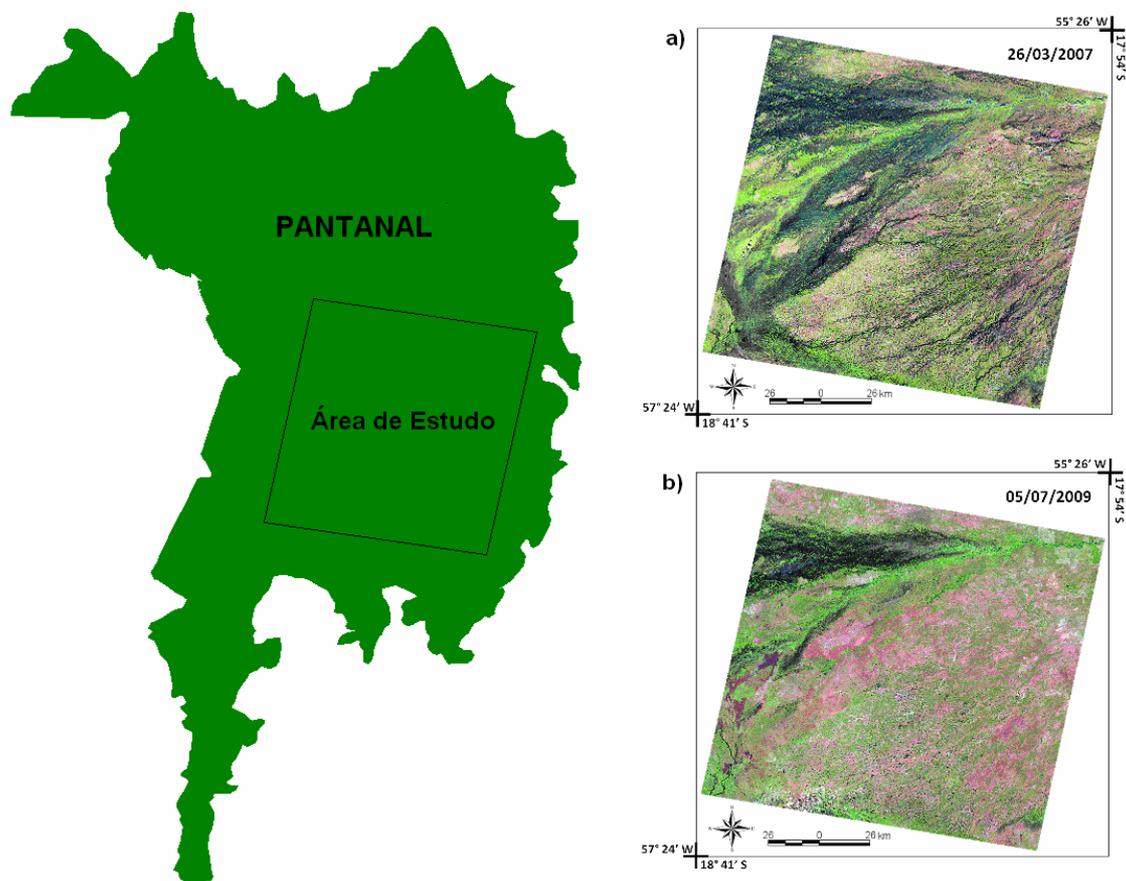


Figura 1. Composição R(3) G(4) B(5) da imagem TM/Landsat-5 da área de estudo (órbita-ponto: 226-73) em: **a)** 26/03/2007 (estação chuvosa); e **b)** 05/07/2009 (estação seca).

A partir das imagens, foram selecionadas as bandas correspondentes, ou próximas, dos comprimentos de ondas indicados por Gao (1996). Assim, foram selecionadas as bandas 4 e 5 do sensor TM e as bandas 2 e 7 do sensor MODIS para a elaboração do índice NDWI. A banda ideal do sensor MODIS para o índice NDWI corresponde à banda 5, entre $1,23\mu\text{m}$ e $1,25\mu\text{m}$, porém, esta apresentava muito ruído, sendo substituída pela banda 7, referente ao infravermelho médio ($2,18\mu\text{m}$).

4. Resultados e Discussão

Em função da resolução espacial das imagens utilizadas, referentes aos sensores TM (30 metros) e MODIS (250 metros), optou-se por não compará-las em termos quantitativos devido às diferenças na resolução espacial. Em termos qualitativos, percebe-se que a resposta dos valores para ambas as imagens apresentaram-se coerentes. Os valores mais baixos correspondem às áreas onde o solo é predominante, e os valores mais altos correspondem às áreas que possuem predominância de água. Este fato é explicado em função da resposta espectral dos alvos. Os solos, na maioria dos casos, apresentam valores de refletância em $1,65\mu m$ maiores do que em $0,86\mu m$. O contrário ocorre para a vegetação e a água, onde os valores de refletância em $1,65\mu m$ são menores do que em $0,86\mu m$. Desta forma, quanto maior for o valor da refletância em $0,86\mu m$, maior será o valor do NDWI (Gao, 1996).

As **Figuras 2a** e **2b** apresentam o resultado do NDWI na área de estudo, na época da estação chuvosa, referentes às imagens dos sensores TM e MODIS, respectivamente. As cores azuis representam os corpos d'água, as cores em tons verdes representam o indicativo de áreas úmidas e as cores brancas representam as áreas mais secas e com cobertura vegetal.

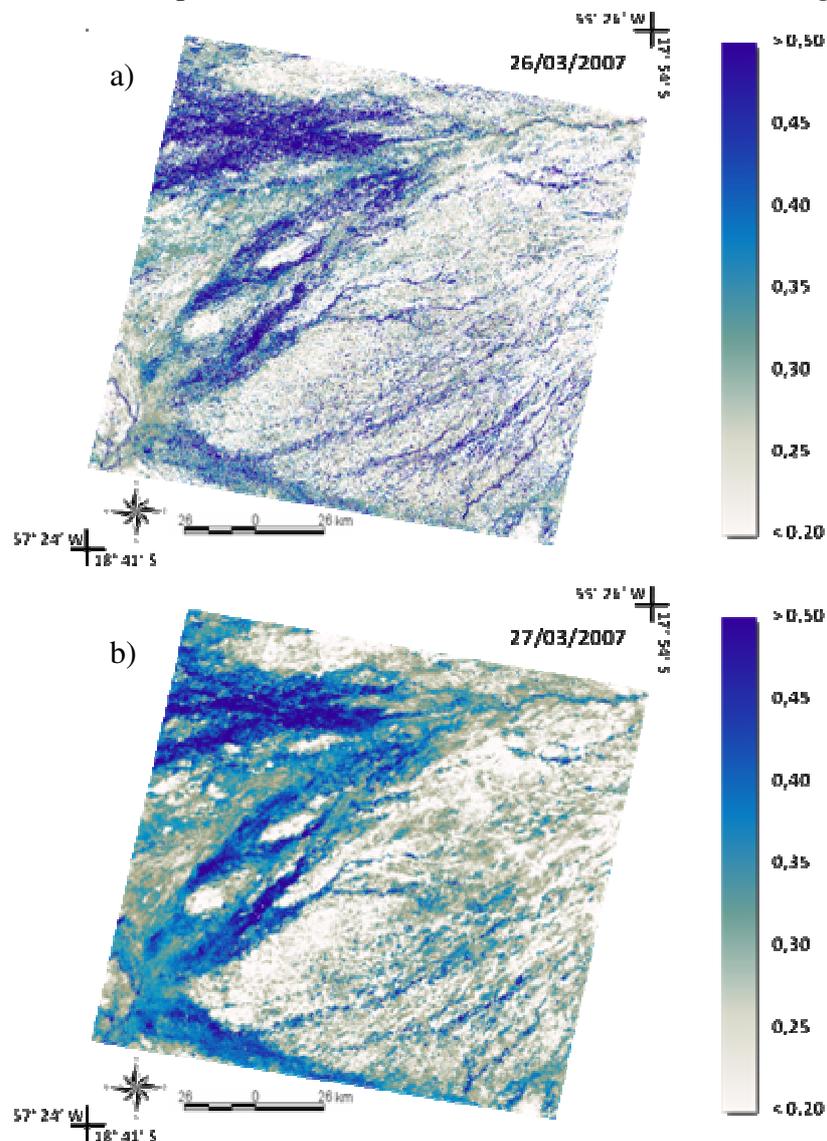


Figura 2. NDWI da área de estudo na estação chuvosa: a) Imagem do sensor TM; b) Imagem do sensor MODIS.

As **Figuras 3a** e **3b** apresentam o resultado do NDWI na área de estudo, na época da estação seca, referentes às imagens dos sensores TM e MODIS, respectivamente. Percebe-se que os resultados do NDWI, provenientes de ambos os sensores, foram bem diferentes em relação à época de estação chuvosa na região. Nas imagens, pode ser observado o contraste entre as áreas permanentemente alagadas do rio Taquari e baixo Taquari (canto superior esquerdo da imagem), e as áreas correspondentes à menor predominância de água no pixel. Os resultados da **Figura 3b**, especificamente, mostram a superestimação das áreas correspondentes aos cursos d'água ou áreas alagadas, denotando uma ocorrência maior nos valores intermediários, correspondentes aos locais indicativos de áreas úmidas (representadas em cores de tons verdes).

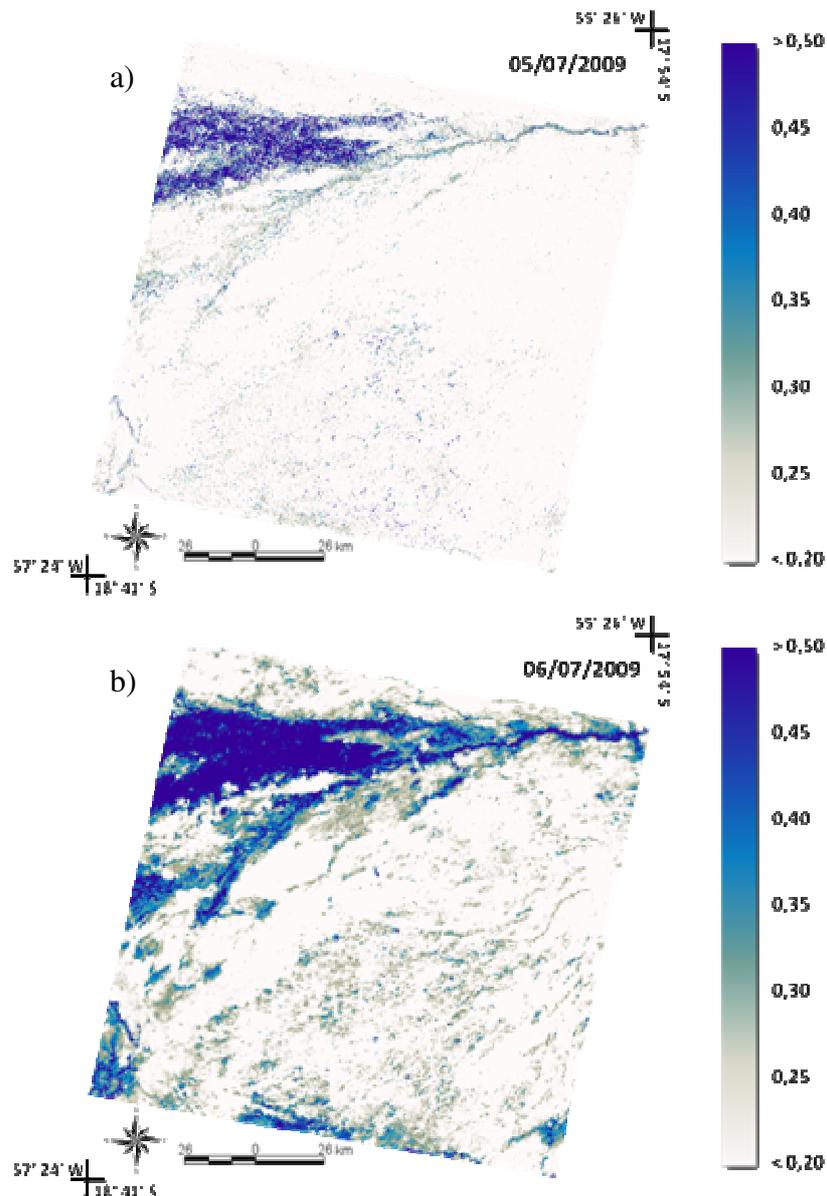


Figura 3. NDWI da área de estudo na estação seca: **a)** Imagem do sensor TM; **b)** Imagem do sensor MODIS.

Desta forma, percebe-se que os resultados do NDWI dos sensores TM e MODIS apresentaram-se de forma mais semelhante na época da estação chuvosa do que na época da estação seca na área de estudo. Provavelmente, a resolução espacial distinta entre ambos os

sensores e a dinâmica espacial do bioma Pantanal influenciaram na superestimativa dessas áreas.

As **Figuras 4a** e **4b** mostram a área de estudo nas épocas chuvosa (**Figura 4a**) e seca (**Figura 4b**), correspondentes aos meses de março de 2007 e julho de 2009 nas imagens TM do satélite Landsat, enquanto que as **Figuras 4c** e **4d** mostram as imagens de NDWI para as datas das imagens correspondentes. Percebe-se que na estação chuvosa (**Figura 4c**), as áreas correspondentes às savanas apresentaram valores de NDWI acima de 0,45, enquanto que nas épocas secas (**Figura 4d**), esses valores diminuíram, ficando abaixo de 0,20. As áreas correspondentes aos cursos d'água apresentaram valores abaixo de 0,20 em épocas de estação chuvosa, enquanto que nas épocas de estação seca esses valores aumentaram, ficando na faixa entre 0,45 e 0,50. Já as áreas de vegetação que acompanham a rede de drenagem apresentaram valores intermediários entre 0,30 e 0,35, tanto na época chuvosa quanto na época seca.

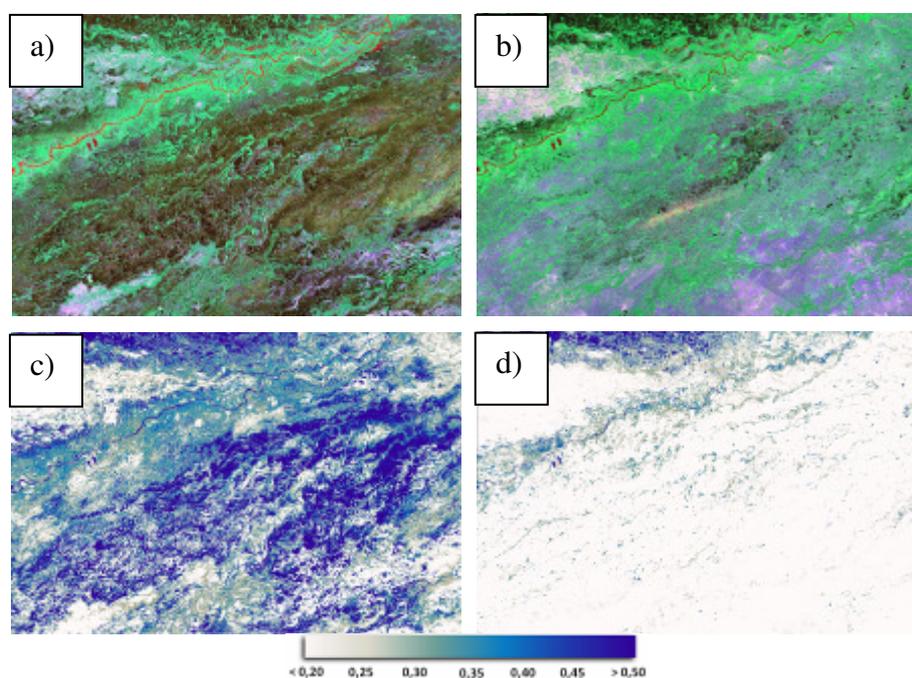


Figura 4. Imagem do sensor TM/Landsat-5, composição R(3) G(4) B(5) do ano de 2007 (a) e de 2009 (b). Imagem NDWI do ano de 2007 (c) e de 2009 (d).

A **Figura 5a** corresponde à imagem de diferença entre os valores de NDWI originada das imagens do TM de março de 2007 (estação chuvosa) e de julho de 2009 (estação seca), e a **Figura 5b** corresponde à imagem de diferença entre os valores de NDWI, calculada a partir do sensor MODIS para as mesmas datas.

Os locais que apresentam tons mais claros correspondem às áreas que possuem pequena diferença nos valores de NDWI entre ambas as estações seca e chuvosa, ou seja, são áreas que se mantêm constantes, não apresentando variabilidade interanual, sendo que os menores valores, abaixo de 0,30, se localizam na área correspondente ao rio Taquari, que apresentou valores elevados de NDWI em ambas as estações.

Os locais que apresentam tons na cor azul correspondem às áreas alagadas ou sujeitas a alagamentos. São áreas que apresentam características distintas nas diferentes épocas do ano, apresentando uma diferença elevada entre os valores de NDWI (valores acima de 0,50).

Ainda, percebe-se na **Figura 5a** um número maior de áreas alagadas ou sujeitas a alagamentos, presentes na cor azul, isto indica que as estimativas destas áreas são mais precisas com a utilização do sensor TM.

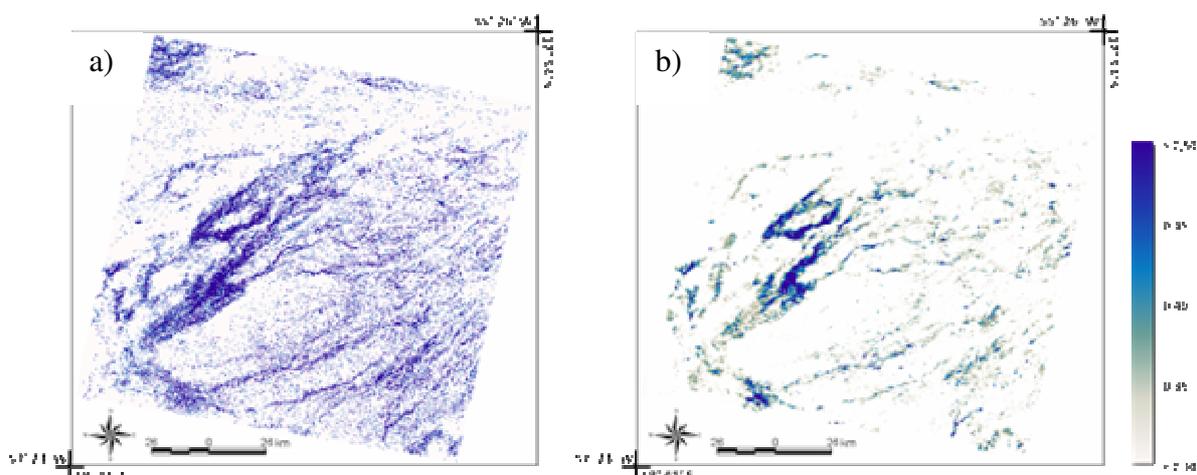


Figura 5. Imagem da diferença entre os valores de NDWI: a) TM/Landsat-5 e b) MODIS/Terra.

5. Conclusões

A dinâmica dos ecossistemas pantaneiros apresentam variações multitemporais significativas de acordo com as estações do ano, ocasionando mudanças expressivas na dinâmica da paisagem. Através dos produtos gerados usando imagens de satélites pode-se diferenciar áreas alagadas, regiões não-inundáveis e áreas úmidas. Tal fator permitiu a combinação dos diferentes produtos para a análise das diferentes formações fito-ecológicas existentes no Pantanal.

Embora a resolução espacial nominal de 250 m do sensor MODIS resulte em grande contaminação por heterogeneidade dos padrões de cobertura do solo presentes, pode-se constatar razoável aproximação entre as estimativas de NDWI realizadas por este sensor quando comparadas com aquelas originadas pelo sensor TM, que apresenta estimativas das áreas inundáveis com maior precisão.

6. Referências

- Boles, S. H.; Xiao, X.; Liu, J.; Zhang, Q.; Munkhtuya, S.; Chen, S.; Ojima, D. Land cover characterization of Temperate East Asia using multi-temporal VEGETATION sensor data. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 4, p. 477-489, 2004.
- Delbart, N.; Kergoat, L.; Toan, T. L.; Lhermitte, J.; Picard, G. Determination of phenological dates in boreal regions using normalized difference water index. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, p. 26-38, 2005.
- Fensholt, R.; Sandholt, I. Derivation of a shortwave infrared water stress index from MODIS near- and shortwave infrared data in a semiarid environment. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p. 111-121, 2003.
- Gao, B.-C. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266, 1996.
- Jackson, T. J.; Chen, D.; Cosh, M.; Li, F.; Anderson, M.; Walthall, C.; Doriaswamy, P.; Hunt, E. R. Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, p. 475-482, 2004.
- Magalhães, N. W. **Conheça o Pantanal**. São Paulo: Terragraph, 390p. 1992.
- Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 144p. 2007.
- Shimabukuro, Y.E.; Novo, E.M.L.M.; Ponzoni, F.J. Índice de vegetação e imagens frações derivadas do modelo linear de mistura espectral para monitoramento da região do Pantanal. In: Encontro Sobre Sensoriamento Remoto Aplicado a Estudos no Pantanal, 1, 1995, Corumbá. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Resumo, p. 175-177. 1995.

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.; Manzi, 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.