

Análise do comportamento do NDWI sob diferentes intensidades da pluviosidade no Pantanal da Nhecolândia, MS-Brasil

José Roberto Amaro Mantovani ¹
Arnaldo Yoso Sakamoto ²
Frederico dos Santos Gradella ²
Adalto Moreira Braz ²

¹ Universidade Federal de Goiás – UFG/IESA
Caixa Postal 131 - Goiânia-GO
E-mail: jr.mantovani.geo@gmail.com

² Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS/CPTL
Caixa Postal 210 Três Lagoas- MS
E-mail: Arnaldo.sakamoto@ufms.br; fregradella@yahoo.com.br

Abstract. The remote sensing and geographic information system (GIS) has been used by researchers in different areas because of its large storage capacity of geospatial data. The use of these techniques extends the range of analysis for various segments of the sciences as agriculture, hydrological, meteorological modeling and preview of inundation. The normalized difference water index-NDWI was used in this study to estimate humid areas in Nhecolândia region of the Pantanal wetlands (state of Mato Grosso do Sul, Brazil) with the aim of comparing potential inundation areas with rainfall data. This region is known for their features with regional names as baías (lakes freshwater) and salinas (lakes water high concentration of salt). Was used remote sensing (Landsat-5-TM) and subsidiary data of precipitation from meteorological station of INMET in a Nhumirim farm/EMBRAPA for data collection. The results showed that the comparing the NDWI index with rainfall was positive because with the rainfall data was possible to have a field control of real conditions on the amount of rain that had precipitated. They contribute for the analysis and serving also as a parameter in the choice of the images to be processed. The combined use of remote sensing techniques with the digital image processing associated with the index proved effective in the study a large area that have with a limited availability of specific data.

Palavras-Chave: remote sensing, NDWI, rainfall, sensoriamento remoto, NDWI, precipitação.

1. Introdução

As técnicas de sensoriamento remoto têm sido fundamentais para realizar o monitoramento e mapeamento dos recursos naturais. Através de imagens de satélite é possível ter uma visão ampla de uma região, permitindo a análise da dinâmica da paisagem em diferentes escalas espacial e temporal, variando conforme a configuração do sensor (Albuquerque et al. 2014).

Estudos utilizando processamento digital de imagens através da construção de índices normatizados estão sendo utilizados para monitorar, dimensionar e quantificar as inundações no pantanal mato-grossense (Cardozo et al. 2009; Zarista, 2013). Essas pesquisas se mostraram eficientes, principalmente, quando são levados em consideração os custos, as dificuldades de acesso e o tamanho da área, sendo interessante do ponto de vista compilatório, o levantamento de dados inexistentes para auxiliar no planejamento e tomada de decisão.

A planície pantaneira, periodicamente, passa por inundações ocasionadas pela baixa declividade (0,3 a 0,5 m/km no sentido leste-oeste e 0,03 a 0,15 m/km no sentido norte-sul), causando lentidão no fluxo d'água que se intensifica por receber água precipitada em toda Bacia do Alto Paraguai (BAP), que tem aproximadamente 600.000km² em território Sul-americano (Franco e Pinheiro, 1982; ANA et al. 2004).

Partes do pantanal experimentam diferentes condições de inundação ao longo do ano, podendo passar por período de inundação de aproximadamente 5 meses e no restante

do ano apresentar secura extrema, ou ainda área periodicamente inundada. Um bom exemplo são as áreas ao norte e ao sul do rio Taquari; área formada pelo seu leque fluvial onde ocorre essa dualidade, enquanto que parte do lobo (leque) atual fica inundada o ano todo.

A porção sul do leque do Taquari é conhecida como Nhecolândia, conhecida pela concentração elevada de lagoas, algumas delas conhecidas como salinas pela concentração elevada de sais (Sakamoto, 1997). De acordo com Soriano (1996) ela pode apresentar inundações em anos mais chuvosos chegando a 1.513,5 mm e em períodos mais secos pode enfrentar deficiência hídrica de 300 mm anuais.

Partindo desse pressuposto, definiu-se por fazer uma comparação entre os resultados obtidos pelo NDWI (*Normalized Difference Water Index*) e as precipitações acumuladas na região da Nhecolândia, Pantanal Sul-matogrossense. Apesar de haver alguns estudos realizados no Pantanal utilizando o índice NDWI, nenhum deles levou em consideração as precipitações, assim, objetivou-se nesse estudo, comparar os dados de precipitação total mensal acumulada (em milímetros) de setembro 2004 a agosto de 2005 com o índice NDWI extraídos através do processamento digital de imagens orbitais correspondentes ao mesmo intervalo dos dados pluviométricos, em fevereiro de 2005 (cheia) e agosto de 2005 (vazante).

2. Metodologia do Trabalho

2.1 Área de Estudo

A área sob estudo está inserida na cena 226/073 (órbita/ponto), compreende o pantanal da Nhecolândia, é limitada ao norte pelo rio Taquari, ao sul pelo rio Negro, a leste pelo Planalto de Maracajú-Campo Grande e a oeste pelo rio Paraguai. Possui área de aproximadamente 24.737 km², compreendida entre os paralelos 18°12' e 19°36'S e os meridianos 54°57' e 57°13'W (**Figura 1**).

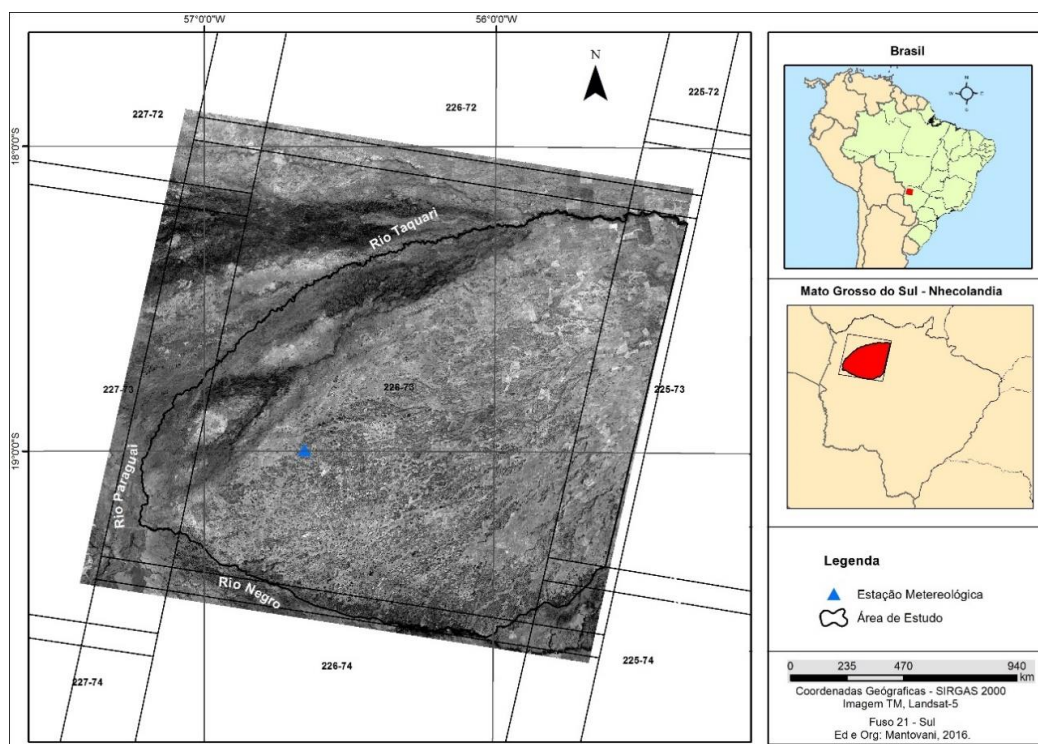


Figura 1. Localização da área de estudo. Porção sul do megaleque fluvial do Taquari, Pantanal da Nhecolândia.

O Pantanal da Nhecolândia abrange 19,48 % do Pantanal Mato-grossense, sendo constituído de sedimentos arenosos finos (95%), depositados pelo rio Taquari desde o início do Quaternário, dentro de um dos maiores leques aluviais do mundo (Cunha, 1980). Apresenta unidades da paisagem que são muitas vezes descritas associando-as com a morfologia do relevo, que são as baías, salinas, cordilheiras, vazantes e corixos (Sakamoto et al. 1996).

2.2 Dados utilizados

2.2.1 Dados de sensoriamento remoto

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do satélite Landsat 5, para os dias 16/02/2005 e 11/08/2005, correspondentes à órbita-ponto 226/073. Foram escolhidas imagens com menores percentuais de cobertura de nuvens e que representassem períodos com diferentes intensidades pluviométricas.

2.2.2 Dados pluviométricos

Como parâmetro pluviométrico da área, utilizaram-se dados de precipitação da estação meteorológica localizado na Fazenda Nhumirim/EMBRAPA (18°59' S; 56°39' W), adquiridos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os dados selecionados correspondem à precipitação total mensal da sazonalidade anual cheia/seca de setembro de 2004 a agosto de 2005. Esta janela de tempo foi escolhida porque é com o fim do período chuvoso que as águas começam a baixar, inclusive o nível do freático, que baixa rapidamente (Gradella, 2008).

2.3 Índice da diferença normalizada de água (NDWI)

O Índice da Diferença Normalizada de Água (*Normalized Difference Water Index* - NDWI) foi desenvolvido por McFeeters (1996) com o objetivo de delinear feições nas águas presentes no ambiente e realçar a presença das mesmas na imagem digital obtida por sensoriamento remoto. Este índice é importante nos estudos referentes ao vigor da vegetação, mudanças na biomassa e estresse hídrico das plantas (Cardozo et al. 2009).

Este índice foi derivado do Índice da Diferença Normalizada de Vegetação (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI), o qual se baseia na assinatura espectral característica de uma vegetação verde e sadia que mostra um evidente contraste entre a combinação das bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Quanto maior for o contraste, maior será o vigor da vegetação na área imageada (Shimakuburo et al. 1999).

McFeeters (1996) modificou a fórmula do NDVI invertendo as variáveis e usando a banda verde ao invés da banda vermelha a fim de obter melhores resultados voltados à água. No entanto para esse trabalho, foi utilizada a proposta de Gao (1996), que relaciona o conteúdo de água presente nas folhas através de duas bandas no espectro infravermelho, equivalentes as bandas 4 e 5 do satélite Landsat 5, sensor TM. O NDWI foi calculado para cada pixel utilizando as refletividades das bandas no infravermelho próximo (banda 4) e do infravermelho médio (banda 5) conforme proposto por Gao (1996) na equação 1:

$$NDWI = \frac{(I_{vp} - I_{vm})}{(I_{vp} + I_{vm})} \quad (\text{Eq. 1})$$

3. Processamento operacional

O recorte espacial da área de estudo se baseou na relação de proximidade e distância da estação meteorológica em relação à dimensão da área de estudo. A estação

meteorológica está localizada na porção centro-oeste da Nhecolândia, assim, decidiu-se por utilizar somente a cena 226/073 que retrata bem as condições dessa porção, não sendo necessário criar um mosaico com a cena 226/074, que abrangeria parte da região leste.

Desta forma, procedeu-se com a delimitação da área de estudo, passando pelos rios Negro (S), Paraguai (W), Taquari (N) e o limite da cena (E). A área total mapeada foi de 21.107 km², aproximadamente 3.000 km² do pantanal da Nhecolândia não foi considerado.

As imagens do sensor TM do Landsat-5 foram submetidas posteriormente à calibração radiométrica e em seguida para refletâncias, realizadas no software ENVI (*Environment for Visualizing Images*, RSI, 2004). O processamento digital de imagens se iniciou através da conversão dos números digitais (ND) em radiância espectral no topo da atmosfera. Em seguida, as imagens com os valores de radiância espectral foram submetidas ao cálculo de refletância planetária no topo da atmosfera (SANTOS et al. 2014).

O índice NDWI das imagens foi calculado para os dois períodos determinados. O índice trabalha com valores (adimensionais) numa escala de -1 a 1, onde valores mais próximos de 1 indicam maior presença de umidade e -1 menor presença de umidade.

A reclassificação dos resultados obtidos, foi realizada através da ferramenta “reclassify”, no software ArcGis. Foram selecionados somente os valores entre 0 e 1, para buscar distinguir apenas áreas correspondentes à presença de umidade efetiva, ou seja, o mais próximo de água livre em superfície, para serem comparados com os dados pluviométricos de ambos os períodos determinados para a pesquisa.

Por fim, para verificar se o mapeamento do NDWI das áreas úmidas se mostrou eficiente, escolhemos uma área teste, na região leste do limite da área de estudo, onde há encontro dos rios Taquari e Negro com o Paraguai.

4. Resultados e discussões

O gráfico 1 apresenta um perfil regular de chuvas anuais, marcada por dois períodos, o primeiro, do início das chuvas, (set/2004) até o fim do período chuvoso (fev/2005). O segundo período é quando inicia a vazante com o fim do período chuvoso (mar/2005) e dura até o início do próximo período chuvoso (ago/2005).

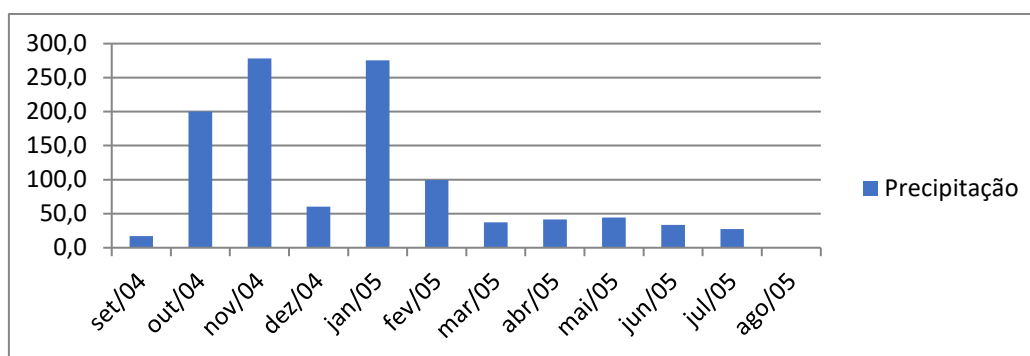


Gráfico 1. Precipitação (mm) total mensal de setembro de 2004 a agosto de 2005.

Fonte: INMET.

Desta maneira, definiu-se por duas imagens do sensor TM, que representam condições de alta precipitação acumulada (fev/2005, período de inundação) e baixa precipitação acumulada (ago/2005, período de vazante). Até o mês de março havia uma precipitação acumulada de 930,2 mm. Com destaque para o mês de novembro (2004) com 278 mm, janeiro (2005) com 275,4 mm precipitados e nenhum valor no mês de agosto.

A figura 2 apresenta os resultados para o mês de fevereiro (1 A/B) e agosto (2 A/B). Os tons azuis nas imagens do NDWI representam áreas com ocorrência de umidades mais intensas e os tons de amarelo representam áreas que há pouca ou nenhuma ocorrência de umidade aparente. Verifica-se uma variação sutil quanto à dinâmica hídrica, comparando as imagens multiespectrais compostas (bandas 5R 4G 3B), mas quando comparadas com os índices de NDWI, a diferença é evidenciada pelo conteúdo de água presente nas folhas através da variação dos dados nos dois períodos analisados.

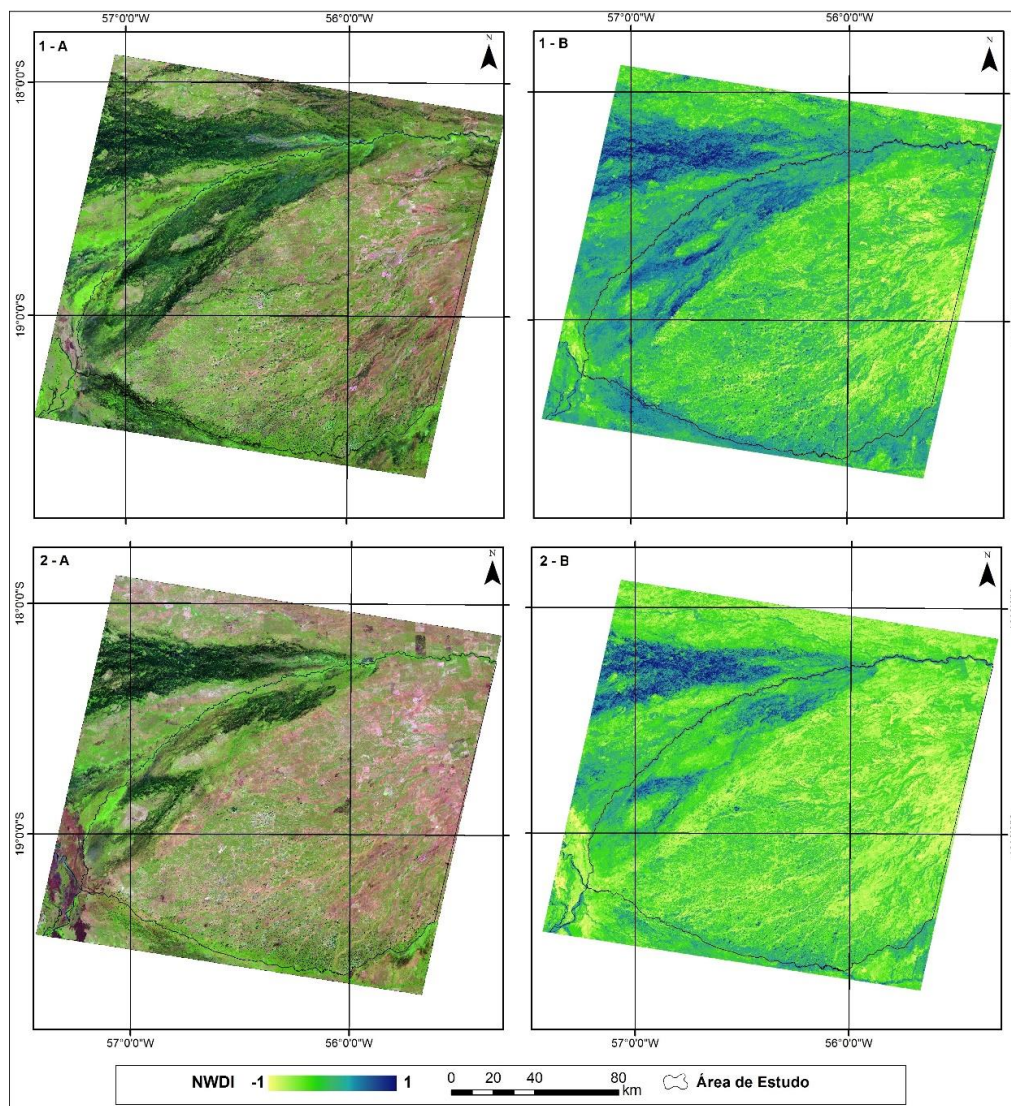


Figura 2. 1-A) Período de inundação (fev/2005) em composição colorida. 1-B) Período de inundação (fev/2005) em índices do NDWI. 2-A) Período de vazante (ago/2005) em composição colorida. 2-B) Período de vazante (ago/2005) em índices do NDWI.

No final do período chuvoso (fev/05) a distribuição associada à elevação da dinâmica hídrica e conteúdo de água presente nas folhas da vegetação, se torna mais acentuada e igualmente distribuída sobre o leque do Taquari, e conseqüentemente, a noroeste da Nhecolândia. Além disso, seguindo o leque na direção nordeste (NE) – sudoeste (SW) há uma tendência de expansão tanto paralela, quanto lateral ao leque dos maiores índices do NDWI.

Ao longo de toda a porção sul (S) da região do Pantanal da Nhecolândia, quase no limite com o rio Paraguai, também é possível observar um aumento dos resultados do

NDWI para o mês de fevereiro. Esta mesma área, no período de vazante no mês de agosto, encontra-se com poucas feições de maior elevação de água presente no dossel da vegetação, passando quase que despercebida.

As vegetações ao longo da margem do rio Taquari são outro fato importante a se elucidar. No mês de agosto (vazante) as vegetações encontravam-se com uma maior concentração de água no dossel, e ao encerrar o período de vazão a dinâmica hídrica se concentra no leque do rio. Iniciando-se o período de cheias (fevereiro) essa concentração diminui ao longo das margens do rio e reforça os maiores índices de concentração de água no leque e Nhecolândia, confirmando que o período de inundação exerce direta influência também na dinâmica de concentração de água nas folhas da vegetação.

Na figura 3 foi destacada uma área com umidade evidente para análise do potencial do NDWI em detectar umidade aparente, onde, a partir do fatiamento dos dados processados do NDWI há evidências das áreas com maiores índices que, consequentemente, evidenciam as áreas de maior potencial de água no dossel da vegetação (1-B e 2B).

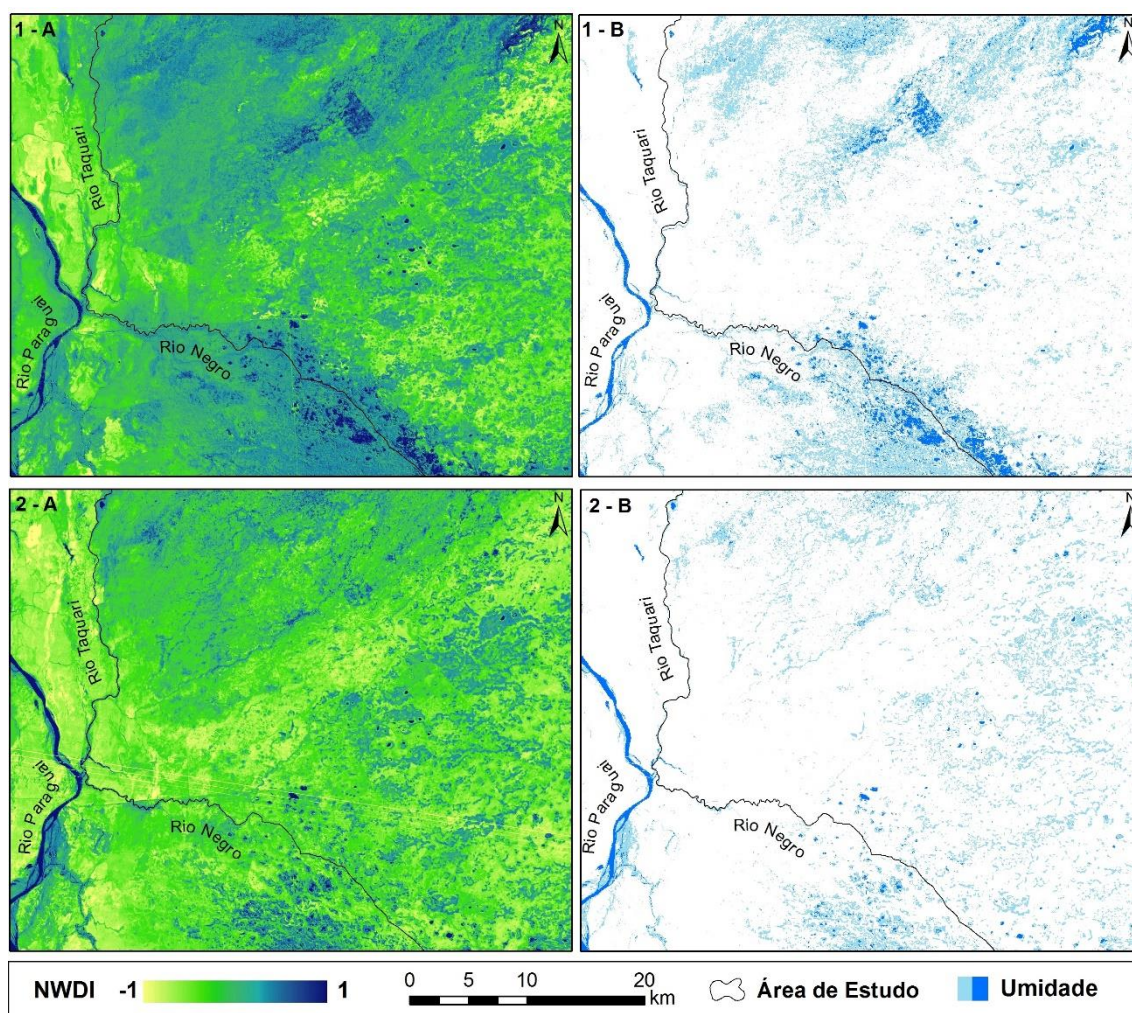


Figura 3. 1-A) Período de inundação (fev/2005) em índices do NDWI. 1-B) Período de inundação (fev/2005) em fatiamento de duas classes de maior intensidade do NDWI. 2-A) Período de vazante (ago/2005) em índices do NDWI. 2-B) Período de vazante (ago/2005) em fatiamento de duas classes de maior intensidade.

O período de inundação (fev/2005) claramente se mostra com maior concentração de água no dossel da vegetação. Essa diferença entre os resultados do fatiamento com as

classes mais elevadas do NDWI demonstrou que a concentração de umidade pelo índice permanece a noroeste (NW) e sudoeste (SW) da área analisada neste período. Isso acontece devido ao maior índice de precipitação acumulada para os meses de janeiro e fevereiro, com aproximadamente 374,8 mm. As mesmas áreas para o período da vazante (mês de agosto) visualmente são representadas por índices mais baixos do NDWI, e ao longo da imagem não há nenhuma porção de concentração de água no dossel da vegetação. Isso porque a precipitação acumulada para os meses de julho e agosto são de apenas 27,4 mm, tendo o mês de agosto não registrado nenhum milímetro de precipitação.

Ainda assim, com a condição de precipitação abaixo da média, é possível refletir sobre a intensificação das secas no período da estiagem, tendo em vista que as taxas de evaporação são elevadas na região, principalmente porque o período que se concentrou as chuvas (outubro a fevereiro) acumulou-se 913,2 mm, ou seja, 81,94% do volume esperado para o ano em apenas 5 meses.

Comparando-se imagens multiespectrais, o índice NDWI e os valores elevados fatiados a partir do NDWI ficou claro que o NDWI realça as áreas que estão em tons mais escuros (áreas úmidas) das imagens multiespectrais e demonstrando que os maiores índices de água no dossel da vegetação estão nas áreas mais úmidas das imagens. O fatiamento dos valores mais elevados do NDWI separa, principalmente, as áreas que estão em tons arroxeados das imagens multiespectrais, típico de vegetação rasteira (gramíneas naturais) em estado avançado de secura, onde estas não são representadas nas imagens fatiadas (aparecem na imagem em branco) e as áreas com maior umidade no dossel da vegetação (aparecem na imagem em azul). Estas imagens possibilitam identificar áreas onde a vegetação possui altos teores de água em suas folhas, contribuindo para a análise visual da dinâmica hídrica e sua influência na vegetação da Nhecolândia.

5. Conclusão

A comparação do índice NDWI com a precipitação foi positiva, pois com os dados de precipitação foi possível ter um controle no campo de condições reais da quantidade precipitada em milímetros, servindo como uma referência aos índices de NDWI, como parâmetro na escolha das imagens a serem processadas e contribuindo na análise da espacialização dinâmica hídrica da Nhecolândia.

A análise dos resultados após a reclassificação (fatiamento das classes do NDWI) com a exclusão dos valores abaixo de 0 e observando o contexto geral da área, torna-se um resultado de rápida interpretação, pois prontamente se identifica a concentração espacial das áreas com maior quantidade de água no dossel da vegetação e vice-versa.

O resultado com a exclusão de valores abaixo de 0, quando analisada a área total, se mostram interessantes, podendo espacializar a distribuição da água no dossel da vegetação. Porém, quando observado em detalhes estes resultados numa escala maior, verifica-se que várias lagoas com presença de água não são classificadas pelo índice. A refletância destas lagoas é muito variada, por vezes em tons de verde, o que possivelmente causou falso aspecto de vegetação e/ou de solo exposto. Para isso, é possível que os estudos desta aplicação sejam desenvolvidos considerando-se diferentes anos com diferentes condições de precipitação mensal, para que sejam identificadas novas formas para se contribuir com a análise do NDWI em estudos no Pantanal.

Portanto, o método, apesar de apresentar algumas incoerências, se mostra eficiente, pois apresenta resultados relativamente rápidos, sua comparação visual é interessante para grandes áreas onde se deseja analisar a dinâmica hídrica e/ou as mudanças da quantidade de água na vegetação, sendo quase impossível tal análise apenas com mensurações em nível de campo devido à grande extensão da área.

Referências

- ALBUQUERQUE, E. M. ANDRADE, S. C. P. MORAIS H. F. DINIZ J. M. T. SANTOS, C. A. C. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. Revista eletrônica. **Estudos Geoambientais** <http://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/geo/article/view/17986>
- ANA; GEF; PNUMA; OEA. Programa de Ações estratégicas para o Gerenciamento Integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai: Relatório Final. In: **Implementação de Práticas de Gerenciamento Integrado das Bacias Hidrográficas para o Pantanal e a Bacia do alto Paraguai**. Desenho & Arte Ltda: Brasília, 2004.
- ARCGIS/ARCINFO – Esri Inc. **ArcGis Version 10**. Environmental Systems Research Institute Inc. New York. 2012. 1 Cd Rom
- 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: **Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE. Corumbá, 2009.
- CUNHA, Noel G.; **Considerações sobre solos da sub-região da Nhecolândia**. Pantanal Mato-Grossense. Embrapa, UEPAE de Corumbá, MS, 1980.
- FRANCO, M. S. M.; PINHEIRO, R. Geomorfologia. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Levantamento de recursos naturais. Folha SE 21 Corumbá e parte da Folha SE 20: Rio de Janeiro, 1982.
- GRADELLA, F. S. **Aspectos da dinâmica hidroclimática da lagoa salina do meio na Fazenda Nhumirim e seu entorno, Pantanal da Nhecolândia, MS – Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul-UFMS, Três Lagoas, 2008.
- GAOS, 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.
- MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, n. 7, p. 1425-1432, 1996.
- RESEARCH SYSTEMS INC. (RSI). **ENVI User´s Guide**. 2004.
- SAKAMOTO, A. Y., QUEIROZ NETO, J. P., FERNANDES, E., LUCATI, H. M., CAPELLARI, B. Topografia de lagoas salinas e seus entornos no Pantanal da Nhecolândia. In: **Anais... Simpósio sobre recursos naturais e Sócio-econômicos do Pantanal: Manejo e Conservação**. Embrapa Pantanal: Corumbá, 1996.
- SAKAMOTO, A. Y. **Dinâmica Hídrica em uma lagoa salina e seu entorno no Pantanal da Nhecolândia: contribuição ao estudo das relações entre o meio físico e a ocupação, Fazenda São Miguel do Firme, MS**. 1997. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciência Humanas/USP, São Paulo, 1997.
- SANTOS, A. R. et al. Sensoriamento Remoto no ArcGIS 10.2.2. **Passo a passo: processamento de imagens orbitais**. Volume 1 (recurso eletrônico). Alegre, ES: CAUFES, 2014. 107 p.
- SHIMABUKURO, Y. et al. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do estado do Mato Grosso através de imagens NOAA-AVHRR**. São José dos Campos, SP. INPE, 1999.
- SORIANO, B. M. A. Caracterização climática da sub-região da Nhecolândia, Pantanal-MS. **Anais... do II Simpósio Sobre Recursos Naturais e Sócio - Econômicos do Pantanal: Manejo e Conservação. EMBRAPA/CPAP: Corumbá, 1996**.
- ZARISTA, S. **Monitoramento da dinâmica de inundação no Pantanal norte com uso de índices EVI e LSWI do MODIS**. 2013. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso-UFMT, Cuiabá, 2013.