COMPARAÇÃO ENTRE NDWI E MNDWI PARA O MAPEAMENTO DE ÁREAS INUNDADAS NO PANTANAL DO TAQUARI

Andressa Padovani Gil [1], Carlos Roberto Padovani [2], André Luiz Nascentes Coelho [1]

[1]Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, 514, Vitória - ES, CEP. 29075-073, andressa.pgil@gmail.com, alnc.ufes@gmail.com; [2]Embrapa Pantanal, Rua 21 de Setembro, 1.880, Corumbá - MS, CEP. 79320-900, carlos.padovani@embrapa.br

RESUMO

O Índice da Diferença Normalizada da Água (NDWI) e sua versão modificada (MNDWI) foram desenvolvidos para realçar e delinear automaticamente corpos d'água em imagens de satélite. Ambos foram aplicados para a delimitação da área inundável do pantanal do rio Taquari, cujos valores de pixels correspondentes à água foram os mesmos nos dois índices gerados: de 0,003921569 a 1. A maioria dos pixels de água são os de menor valor, do mais baixo até um limite que variou para cada índice: no NDWI, o valor foi até 0,128431373; e no MNDWI, o valor foi até 0,284068628. O MNDWI produziu melhores resultados do que a versão original, possibilitando um mapeamento mais adequado dos corpos d'água inundados na planície pantaneira.

Palavras-chave **—** Rio Taquari, Pantanal, inundações, NDWI.

ABSTRACT

The Normalized Difference Water Index (NDWI) and its modified version (MNDWI) were developed to highlight and delineate water bodies in satellite images. Both were applied for the delimitation of the floodplain of the Taquari's Pantanal, whose pixels values corresponding to water were the same in the two indexes generated: from 0.003921569 to 1. The most part of the water pixels are the ones with smaller values, from the lower up to a limit that varied for each index: to NDWI, the value was up to 0.128431373; and to MNDWI, the value was up to 0.284068628. The MNDWI produced better results than the original version, allowing a more adequate mapping of the water bodies flooded in the Pantanal plain.

Key words **—** *Taquari river, Pantanal, floods, NDWI.*

1. INTRODUÇÃO

O Índice da Diferença Normalizada da Água (NDWI), concebido por [1], tem por objetivo realçar e delinear automaticamente as águas abertas através da operação de bandas multiespectrais. O método é uma variação do NDVI (Índice da Diferença Normalizada da Vegetação), e combina as bandas verde e infravermelho próximo na seguinte equação:

$$NDWI = \frac{\text{banda verde - infrav. próximo}}{\text{banda verde + infrav. próximo}}$$

O NDWI gera uma nova imagem, cujo valor dos pixels varia de -1 a 1, sendo 0 o limiar entre os alvos que são água e o que não são água. Ou seja: todos os pixels com valor igual ou menor que zero não são água (NDWI ≤ 0), e todos os pixels que possuírem valor maior que 0 são água (NDWI > 0). Assim, na imagem gerada pelo NDWI, os corpos d'água são evidenciados, conferindo maior valor de brilho, enquanto as feições de solo e vegetação são minimizadas.

Posteriormente, [2] propôs uma modificação na equação do método, criando o Índice da Diferença de Água Normalizada Modificado (MNDWI) que substitui a banda do infravermelho próximo para o infravermelho médio, a fim de obter melhores resultados em regiões que possuem áreas construídas, visto que no NDWI estas se misturam com os corpos d'água. A equação do MNDWI é:

$$MNDWI = \frac{\text{banda verde - infrav. médio}}{\text{banda verde + infrav. médio}}$$

Segundo o autor, as principais vantagens do MNDWI sobre o NDWI original são:

- Atribuir à água valores ainda mais positivos, visto que a banda do infravermelho médio absorve mais energia nos corpos d'água que a banda do infravermelho próximo;
- Distinguir a água das áreas construídas, pois o uso da banda do infravermelho médio atribui, no índice, valores negativos às áreas construídas;
- Promover maior contraste com as áreas de solo, que possuem maior refletância na banda do infravermelho médio do que no infravermelho próximo.

O autor conclui, ainda, que o MNDWI revela maiores detalhes dos corpos d'água do que o NDWI, promovendo uma melhoria considerável na separação dos alvos "água" e "não-água".

O presente artigo tem como objetivo apresentar a comparação realizada entre o NDWI e MNDWI e a eficácia do método MNDWI para o mapeamento das áreas

inundáveis do Pantanal do Taquari, buscando uma melhor compreensão da dinâmica das inundações neste local.

1.1. Caracterização da área de estudo

O rio Taquari flui de leste para oeste, do planalto para a planície do Pantanal, e deságua no rio Paraguai em sua margem esquerda, atravessando os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Na bacia do Alto Taquari, o rio drena a região do planalto, onde as altitudes chegam a mais de 800 metros. A transição entre o planalto e o Pantanal é brusca, marcada por uma linha de montanha no sentido norte-sul [3].

No Pantanal do Taquari, as altitudes variam de 190 metros no ápice (próximo a escarpa de transição planalto/planície) a 85 metros em sua base, na planície do rio Paraguai, a oeste, resultando num baixo gradiente de 36 cm/km [4]. As baixas declividades resultam na diminuição da velocidade das águas do rio, ocorrendo a predominância da deposição de sedimentos e a formação de um grande leque aluvial no curso inferior [5].

O rio Taquari corre hoje em dois compartimentos geomorfológicos distintos no Pantanal, tanto em termos de forma e dimensão como de processos de transporte e deposição de sedimentos, quais sejam: um cinturão de meandros na parte superior do leque, logo no início do Pantanal; e um lobo distributário atual em suas porções média e inferior. A dinâmica sedimentar do megaleque é caracterizada pela construção e abandono de lobos deposicionais, deixando como testemunho uma complexa rede de paleocanais distributários [6].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletados os dados dos níveis do rio Taquari para a estação Coxim (código 6687000), de 1 de janeiro de 1985 a 29 de junho de 2018. Os dados foram organizados em tabela e foi calculada a curva de permanência de 5%, a fim de selecionar as grandes cheias do rio no período escolhido para análise. Este procedimento é comumente utilizado como referência em estudos hidrológicos e consiste em identificar, dentro de um conjunto de valores, a frequência com que um determinado valor é igualado ou superado.

Procedeu-se à busca das imagens de satélite Landsat nas séries 5, 7 e 8 para os períodos das grandes cheias identificados a partir do cálculo da curva de permanência, para as duas cenas que registram todo o curso do rio Taquari: órbita/ponto 225/73 (cena de montante) e 226/73 (cena de jusante). Foram selecionadas 11 imagens no total: 6 imagens da cena de montante e 5 imagens da cena de jusante. As imagens foram coletadas gratuitamente no endereço eletrônico do Serviço Geológico Americano (USGS).

Os processamentos de imagens e análises foram realizados no software ArcGIS 10.5.1.7333. Para todas as imagens, foram gerados o NDWI e MNDWI através da caixa de ferramentas "*Spatial Analyst Tools"*, na aba *"Map Algebra"*, ferramenta *"Raster Calculator"*. Os resultados se apresentam como novas imagens, que foram exportadas e salvas no formato ".tif".

Para uma melhor visualização dos alvos de água nos índices gerados, as imagens foram fatiadas em 32 classes de níveis de cinza, com intervalos iguais, excluindo os pixels correspondentes a alvos não-água. Este processamento seguiu os seguintes comandos: *Layer Properties* - *Symbology* - *Classified* - *Classify* - seleção do método "*equal interval*" com o maior número de classes possível (32 classes) e exclusão de dados com valor de -1 a 0. Esse método foi escolhido pela sua simplicidade e transparência no processo de classificação.

Partindo do princípio que os diferentes corpos d'água, com água pura ou água com diferentes concentrações de sedimentos e matéria orgânica em suspensão, produzem diferentes respostas espectrais [7]; buscou-se diferenciar a água do leito do rio Taquari dos demais corpos d'água na planície. Para tanto, a partir do fatiamento das classes de pixels, foram identificados os pixels presentes no leito do rio Taquari, atribuindo-lhes a cor azul. Para os demais pixels mais representativos de água acumulada na planície, atribuiu-se a cor amarela. Para o restante dos pixels com pouca representação atribuiu-se a cor laranja. A atribuição das cores nos índices gerados pode ser observada nas Figuras 2 e 3.

Como informação auxiliar para a interpretação dos resultados do NDWI e MNDWI, foram geradas composições coloridas cor verdadeira (combinação das bandas azul, verde e vermelho) e falsa-cor (combinação das bandas infravermelho médio, infravermelho próximo e vermelho). As composições coloridas possibilitam uma melhor distinção de determinados alvos do que nas bandas individuais em cor preto e branco, possibilitando uma comparação entre os corpos d'água mapeados pelos métodos utilizados e os alvos presentes nas imagens compostas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para os dois métodos utilizados, os valores de pixels correspondentes à água foram os mesmos: de 0,003921569 a 1. Os pixels que contém praticamente toda a água das imagens são os de menor valor (atribuídos às cores amarelo e azul), do mais baixo (0,003921569) até um limite que variou para cada índice: no NDWI de [1], o valor foi até 0,128431373; e no MNDWI de [2], o valor foi até 0,284068628. Destes limiares até o valor 1, cuja cor atribuída foi laranja, a quantidade de pixels de água é bem pequena, como se observa nas Figuras 2 e 3 (praticamente não aparecem pixels de cor laranja).

Os resultados mostraram que o MNDWI seguindo a equação de [2] produziu uma melhor distinção entre as feições água e não água, além de possibilitar a separação entre a água do rio Taquari e a água das áreas inundadas na

planície. O NDWI original, proposto por [1] subestimou os corpos d'água, deixando de considerar trechos do leito do rio Taquari, nas áreas inundadas e nos paleocanais da planície; além de misturar os pixels presentes no leito do rio com aqueles em áreas inundadas distantes do leito e sem conexão direta com o rio. As Figuras 1 a 3 apresentam a mesma cena das imagens do dia 12 de maio de 2015, do Landsat 8.

A Figura 1 apresenta a composição falsa-cor RGB com as bandas 654, mostrando o leito do rio Taquari na cor azul e paleocanais e áreas inundadas na cor preta; a Figura 2, o NDWI de [1], no qual se observam falhas no leito do rio Taquari e poucos trechos de paleocanais e áreas inundadas mapeados; e a Figura 3 apresenta o MNDWI de [2], no qual se observa um melhor delineamento do leito do rio Taquari, dos paleocanais e das áreas inundadas, bem como o isolamento dos pixels presentes no leito do rio, representados na cor azul, separando-o dos demais pixels de água, da planície, na cor amarela. Foram analisados trechos em maior escala que reafirmaram o mapeamento mais eficaz do MNDWI.

Para validar o mapeamento gerado pelo MNDWI, foi adquirida uma imagem Landsat 8 com data de passagem em 29 de agosto de 2018, sendo a imagem disponível mais próxima dos dias 17 e 18 de agosto, período em que foi realizado um sobrevoo pelo Pantanal para realização de registro fotográfico georreferenciado em trechos dos principais rios. O trecho do rio Taquari que possui cobertura das fotos aéreas começa do limite do Pantanal até aproximadamente 66 km a jusante.

A Figura 4 mostra o trecho do rio Taquari com a cobertura de fotos aéreas. Os pontos de cor verde indicam os locais onde foram registradas as fotos, a linha vermelha indica o limite do Pantanal, em azul e amarelo são os corpos d'água mapeados pelo MNDWI, sobrepostos à banda 6, do infravermelho médio.

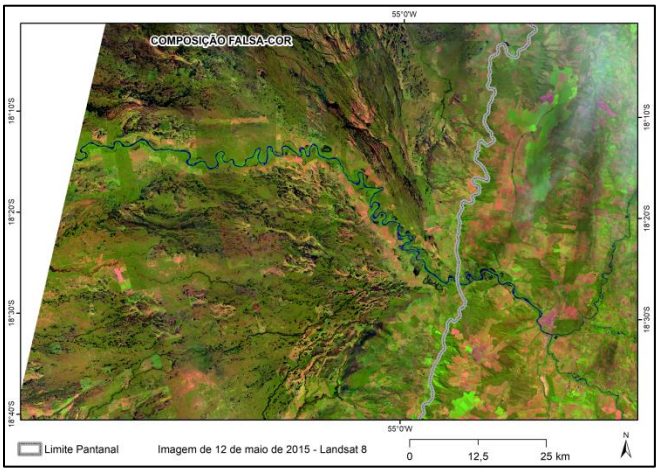

Figura 1. Composição falsa-cor para imagem do dia 12 de maio de 2015, Landsat 8. Cena de montante. Autoria própria.

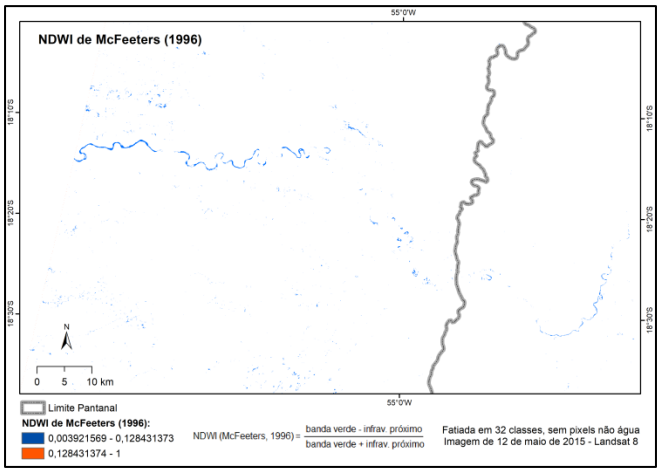

Figura 2. NDWI de [1] para imagem do dia 12 de maio de 2015, Landsat 8. Em azul são os corpos d'água mapeados pelo modelo. Cena de montante. Autoria própria.

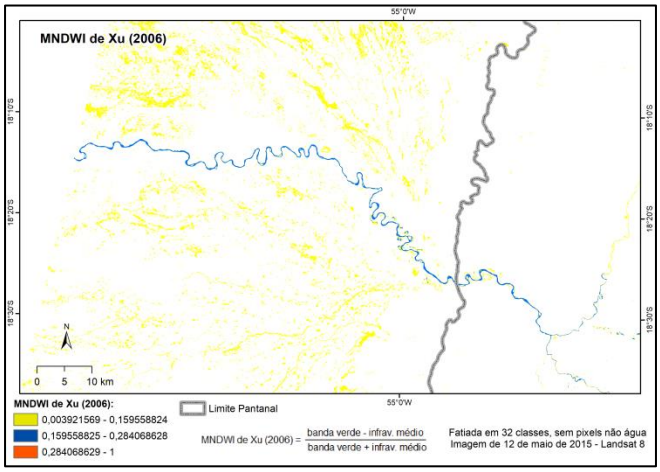

Figura 3. MNDWI de [2] para imagem do dia 12 de maio de 2015, Landsat 8. Em azul e amarelo são os corpos d'água mapeados pelo modelo. Cena de montante. Autoria própria.

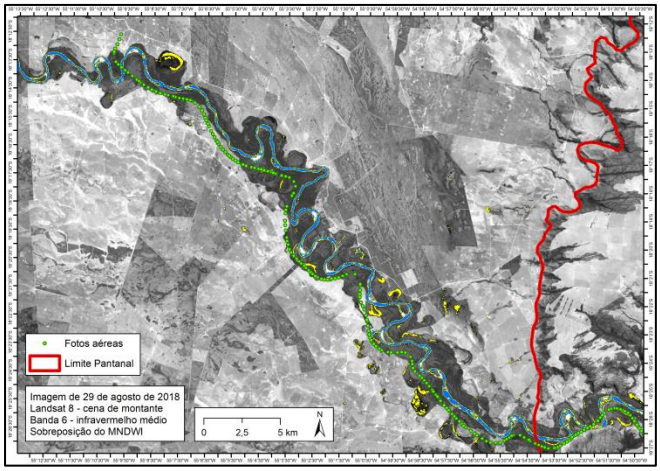

Figura 4. Trecho de análise para validação do MNDWI. Imagem do dia 29 de agosto de 2018, Landsat 8. Em azul e amarelo são os corpos d'água mapeados pelo modelo. Cena de montante. Autoria própria.

Um total de 20 corpos d'água mapeados pelo MNDWI foi identificado nas fotografias aéreas. Isso contabiliza praticamente todos os corpos d'água que estavam desconectados do leito do rio, nas datas das fotos e da imagem de satélite utilizada, e que se encontravam no campo de visada do voo. Estas feições são, majoritariamente, paleocanais, meandros abandonados e pontos de extravasamento do rio dentro do cinturão de meandramento. A Figura 5 apresenta como exemplo a fotografia de meandro abandonado à margem direita do rio que foi mapeado pelo MNDWI.

Figura 5. Foto aérea de meandro abandonado que foi mapeado pelo MNDWI. Autoria própria.

4. CONCLUSÕES

O método MNDWI apresentou resultados melhores que o NDWI no que tange ao mapeamento das áreas inundadas do pantanal do Taquari, e o fatiamento das classes de pixels possibilitou o isolamento das águas do rio Taquari das demais águas acumuladas na planície. Tal informação é de grande auxílio para o entendimento da dinâmica das inundações locais.

A validação do método se mostrou satisfatória, visto que praticamente todos os corpos d'água mapeados no cinturão de meandramento foram identificados nas fotografias aéreas georreferenciadas.

Os mapeamentos gerados pelo MNDWI a partir das imagens em períodos de cheia do Taquari corroboram com as informações coletadas em pesquisas já realizadas na área de estudo [6] [8] [9], que indicam que o rio Taquari, no início do Pantanal, encontra-se confinado num cinturão de meandramentos, não havendo extravasamento das águas do rio para a planície, apenas entre o rio e o cinturão de meandramento (Figura 3). As águas do rio Taquari passam a extravasar e ocupar a planície panteira apenas à jusante, na metade do leque, nos pontos conhecidos localmente como "arrombados".

Conclui-se que o MNDWI se mostrou satisfatório para o objetivo proposto. Os resultados gerados, que são produtos em formato raster, podem ser classificados e transformados em arquivos vetoriais, possibilitando a quantificação das áreas inundadas. Além disso, como próximos passos desse estudo, pode-se recorrer também a utilização de dados altimétricos da missão SRTM, enriquecendo a análise.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Agência Nacional de Águas (ANA) pelo financiamento da pesquisa.

5. REFERÊNCIAS

[1] 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.

[2] XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 3025-3033, 2006.

[3] COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. **Aspectos da hidrologia da bacia do Alto rio Taquari**. s/d. Disponível em < https://www.researchgate.net/publication/228699847_ASPECTOS_DA_HIDROLOGIA_DA_BACIA_DO_ALTO_RIO_TAQUARI >. Acesso em 10 ago. 2018.

[4] ASSINE, M. L.; PADOVANI, C. R.; ZACHARIAS, A. A.; ÂNGULO, R. J.; SOUZA, M. C. Compartimentação geomorfológica, processos de avulsão fluvial e mudanças de curso do rio Taquari, Pantanal Mato-Grossense. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 6, Nº 1, p.97-108, 2005.

[5] PADOVANI, C. R.; PONTARA, R. C. P.; PEREIRA, J. G. Mudanças recentes de leito no baixo curso do rio Taquari, no Pantanal Mato-grossense. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 49, p. 33-38, 2001.

[6] ASSINE, M. L. Taquari: um rio mutante. **Anais...** 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.1034-1040.

[7] JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente**: Uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução da Segunda Edição. Editora Parêntese, São José dos Campos, 2009.

[8] ASSINE, M. L. **Sedimentação na bacia do pantanal mato-grossense, centro oeste do Brasil**. 2003. 105 p. Tese de (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2003.

[9] PADOVANI, C. R. **Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal.** Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada), Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.