



**Análise Comparativa entre Métodos de Índice de Água por
Diferença Normalizada (NDWI) em Área Úmida Continental**
Comparative Analysis of Normalized Difference Water
Index (NDWI) Methods in Continental Wetland

Luciana Escalante Pereira¹; Gustavo Amorim²;
Alfredo Marcelo Grigio³ & Antonio Conceição Paranhos Filho¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, Laboratório de Geoprocessamento para Aplicação Ambiental. 78720-100. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil

² Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, FUNDECT – Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, Cidade Universitária, Instituto de Física, Unidade 7-A Campo Grande – Mato Grosso do Sul, Brasil

³ Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Departamento de Gestão Ambiental, 59625-620. Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil

E-mails: l.escalante.pereira@gmail.com; gustavo_m_amorim@hotmail.com;
alfredogrigio1970@gmail.com; antonio.paranhos@pq.cnpq.br

Recebido em: 15/03/2018 Aprovado em: 17/05/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_654_662

Resumo

Os dados provenientes de sensoriamento remoto, como os índices radiométricos, representam fontes alternativas na geração de dados que podem colaborar para o entendimento dos processos naturais que ocorrem no Pantanal. O Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) é um método conhecido por parte da comunidade científica que faz uso de geotecnologias. Entretanto, o seu uso e aplicação ainda causa algumas dúvidas e confusões, isto porque, existem dois métodos diferentes para o cálculo do NDWI e ambos com objetivos distintos. Neste sentido, o estudo analisou qual método de NDWI teve melhor performance para ilustrar as áreas úmidas e inundadas do Pantanal. O NDWI foi calculado 4x, uma vez para o método proposto por McFeeters (1996) e 3x para o método de Gao (1996). A repetição para o método de Gao deu-se devido à disponibilidade de banda do infravermelho médio (SWIR) do produto MODIS utilizado. Os resultados mostraram que o NDWI de McFeeters apresenta maior confusão espectral para os alvos de solo úmido, solo exposto e vegetação rasteira. Já os alvos de água e vegetação arbórea são mais fáceis de caracterizar. No NDWI de Gao a melhor relação entre infravermelho próximo (IVP) e SWIR ficou por conta da banda 2 (IVP) e 5 (SWIR), onde cada alvo apresenta um comportamento espectral mais centrado dentro de um determinado intervalo. Nas bandas 6 (SWIR) e 7 (SWIR) a confusão espectral foi alta, principalmente entre os alvos de solo úmido e água.

Palavras – chave: Pantanal; Sensoriamento Remoto; MODIS; NDWI

Abstract

The remote sensing data, like radiometric indices, represent alternative data generation sources that can help us understand the natural processes that occur in the Pantanal. The Normalized Difference Water Index (NDWI) is a partially known method in the scientific community which makes geotechnologies use. Although, its use and application still causes doubts and confusions, mainly because there are two different methods for calculating NDWI, both with different objectives. In this sense, it was analyzed which NDWI method has better performance to represent the Pantanal wet and flooded areas. The indices were calculated 4x, initially in the McFeeters method (1996), followed by 3 repetitions in the Gao (1996) method. The repetition for the Gao method was due to the medium infrared (SWIR) band availability of the MODIS product used. The results comparison evidenced that using the McFeeters NDWI method generated greater spectral confusion in wet or exposed soil and in undergrowth targets, whereas water and tree vegetation targets were easier characterized. In the Gao NDWI method results, an improved relationship between near infrared (NIR) and SWIR was noticed, due to band 2 (NIR) and 5 (SWIR), what, in this situation, revealed that each target had a more focused spectral behavior at certain intervals. In bands 6 (SWIR) and 7 (SWIR) the spectral confusion was considered high, mainly in moist soil and water targets.

Key words: Pantanal; Remote sensing; MODIS; NDWI

1 Introdução

O Pantanal configura-se como uma importante Área Úmida mundial e é conhecido por ser a maior planície inundável do mundo. As Áreas úmidas estão entre os ambientes mais produtivos, apesar de ocuparem apenas 6% da superfície terrestre (Mwita *et al.*, 2012), são áreas que além de fornecer habitat para peixes e animais selvagens, suportam uma rica biodiversidade incluindo espécies ameaçadas de extinção (Ozesmi & Bauer, 2002). Essa rica biodiversidade também é destaque no Pantanal, sendo uma região úmida que possui características ambientais peculiares e de frágil ecossistema (Rossetto & Girardi, 2012).

A planície pantaneira ocupa uma área de grande extensão, desse modo, as técnicas de sensoriamento remoto podem ser usadas de forma eficiente para mensurar e monitorar áreas inundadas em toda sua extensão (NRCan, 2013), como é o caso do Pantanal. Antes do advento das imagens de sensoriamento remoto, o Pantanal era, talvez, em termos de uma correta geomorfologia aluvial, a área menos conhecida do mundo (Ab'Sáber, 2006). O mapeamento da dinâmica de fenômenos hidrológicos é um método importante para avaliar a área da superfície coberta por lâmina de água, com isso é possível propor o delineamento de áreas inundadas e não inundadas (Baig *et al.*, 2013).

Com as técnicas de sensoriamento remoto disponíveis, é possível analisar os aspectos da inundação no Pantanal, extraíndo informações de outros componentes naturais, usando para isto dados advindos de índices radiométricos. Os índices radiométricos são medidas radiométricas capazes de identificar em imagens digitais a abundância relativa e a atividade de determinados tipos de informações (França *et al.*, 2012). Ou seja, esses índices são obtidos através da razão entre bandas, sendo utilizados para realçar as diferenças espectrais de um par de bandas, caracterizando determinadas feições da curva de assinatura espectral de alguns alvos (INPE, 2006). O uso deles permite muitas vezes uma combinação ou integração de vários parâmetros.

Neste contexto, o Índice por Diferença Normalizada de Água (NDWI - *Normalized*

Difference Water Index) é um método bastante conhecido nas aplicações de geoprocessamento e estudos hídricos. Há duas maneiras para calcular o NDWI, uma proposta por Gao (1996) e outra por McFeeters (1996).

Visando isto, o trabalho teve por objetivo analisar qual método de NDWI tem melhor performance para ilustrar as áreas úmidas e inundadas do Pantanal, usando-se de dados MODIS na avaliação dos resultados.

2 Área de Estudo

O Pantanal está localizado na região Centro-Oeste brasileira, entre os Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, com uma pequena porção de seu território situada nos países fronteiriços Bolívia e Paraguai (Figura 1). Inserido na Bacia do Alto Paraguai (BAP), é caracterizado por baixas altitudes e gradientes topográficos muito baixos.

Em relação às inundações, o Pantanal é uma mistura de áreas alagadas permanentemente e sazonalmente, possuindo alguns cumes que não são inundados por enchentes mesmo durante grandes inundações (Assine, 2005). Com base nas áreas inundadas e na formação vegetal, Pott & Pott (2004) apresentam três feições topográficas que podem ser consideradas básicas no Pantanal: 1- cumes livres de inundação (diques antigos) com árvores; 2- planícies inundadas sazonalmente com pastagens; e 3- corpos d'água com macrófitas aquáticas.

A região pantaneira não é uma área homogênea em toda sua extensão, por isso a mesma é dividida em sub-regiões de acordo algumas particularidades. Devido a isto, não existe um consenso quanto à área total da planície pantaneira, nem quanto ao número de sub-regiões. Na literatura é possível encontrar diferentes divisões e limites para o Pantanal, para este trabalho o limite adotado foi o proposto por Mioto *et al.* (2012).

Configurando como uma importante área úmida do mundo devido as suas características e peculiaridades ambientais, a região pantaneira torna-se uma área interessante para observar o

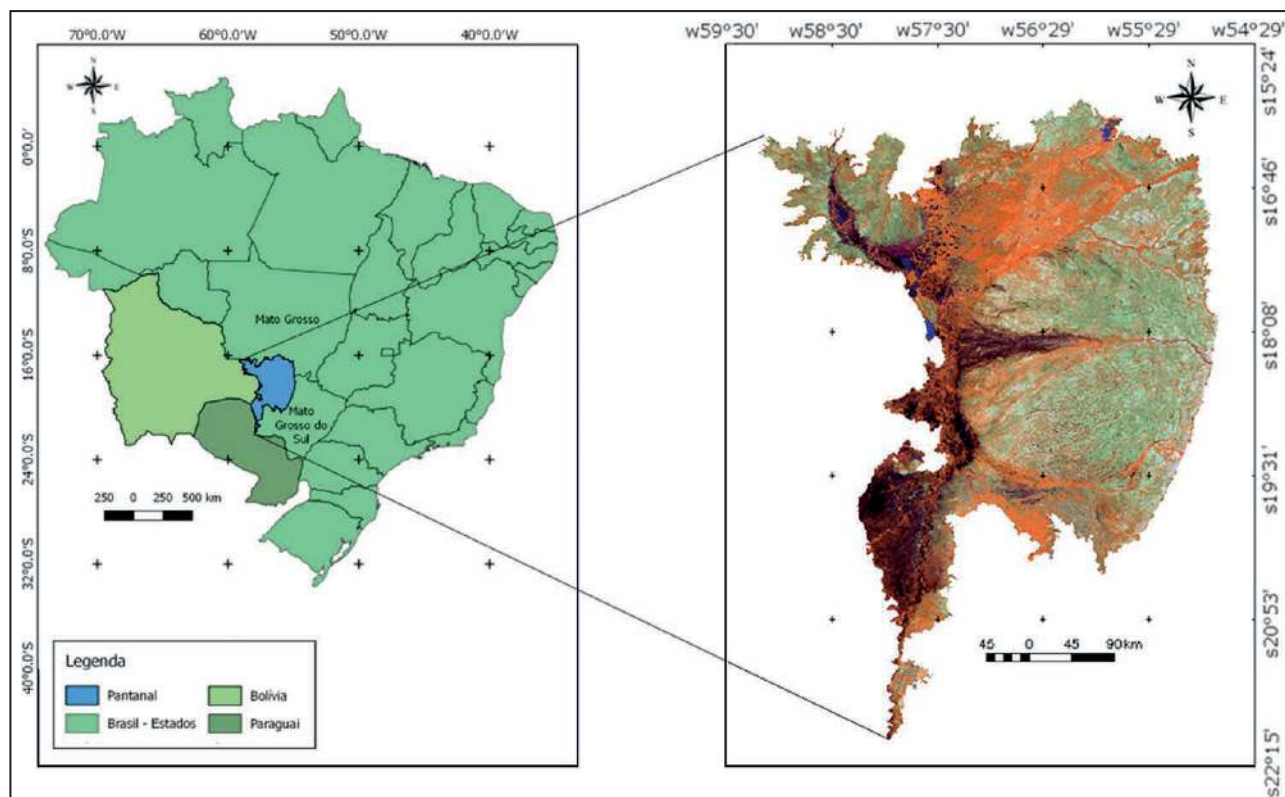


Figura 1 Localização da Planície Pantaneira. A maior parte da região está inserida no Brasil, entre os Estado de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, com uma pequena porção adentrando os países vizinhos Bolívia e Paraguai. Imagem do sensor MODIS em composição falsa-cor RGB-261.

comportamento de métodos de análise ambiental. Em específico dos NDWI's, métodos que por possuírem a mesma terminologia, muitas vezes são utilizados como sinônimos, ocasionando na utilização inadequada dos índices.

3 Materiais e Métodos

3.1 NDWI

O NDWI, assim como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), está entre os índices radiométricos mais aplicados em estudos ambientais. Existem dois métodos propostos para o cálculo de NDWI.

O primeiro método exposto é o proposto por McFeeters (1996), neste método o NDWI é calculado usando as respostas espectrais do canal do Infravermelho Próximo (IVP) e da luz verde – canal do visível. O NDWI é calculado através da fórmula:

$$NDWI = \frac{(\rho_{vd} - \rho_{ivp})}{(\rho_{vd} + \rho_{ivp})}$$

Onde: ρ_{vd} é a reflectância na faixa da luz verde; e ρ_{ivp} é a reflectância na faixa do infravermelho próximo.

O NDWI apresentado por McFeeters foi proposto com o objetivo de analisar e avaliar dados de recursos hídricos, como identificação de cursos d'água (Brenner & Guasselli, 2015), monitoramento de áreas inundadas (Memon *et al.*, 2015), entre outros. Como apontado pelo autor, a opção pelo uso da faixa espectral que responde pela luz verde foi feita com os seguintes parâmetros: (1) maximizar a reflectância típica de características da água usando comprimentos de onda da luz verde; (2) minimizar a baixa reflectância do IVP em feições hídricas; e (3) tirar proveito da alta reflectância do IVP nas feições de vegetação e do solo terrestre.

Outro meio de calcular o NDWI é através do método proposto por Gao (1996), que utiliza

duas bandas do canal do infravermelho: IVP e infravermelho médio (SWIR). Diferentemente da fórmula de McFeeters, nesta a banda espectral verde é substituída pela banda do SWIR, sendo o NDWI calculado como o exposto:

$$NDWI = (\rho_{IVP} - \rho_{SWIR}) / (\rho_{IVP} + \rho_{SWIR})$$

Onde: ρ_{SWIR} é a reflectância na faixa do infravermelho médio.

Apesar de possuir o mesmo nome, ressalta-se que o NDWI de Gao (1996) tem uma definição diferenciada da apresentada por McFeeters. Como apresentado por Ji *et al.* (2009), embora o NDWI de McFeeters de Gao usem a mesma terminologia, os conceitos dos dois NDWIs são completamente diferentes. Na definição de Gao o NDWI é entendido como um método capaz de medir o teor de água líquida presente na vegetação. Ou seja, o método de McFeeters objetiva dar destaque ao delineamento de feições hídricas do terreno, enquanto o de Gao tem mais o propósito de acentuar a umidade presente na vegetação.

3.2 Produto MOD09A1

Os dados *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) são disponibilizados em diferentes sub produtos, o produto MOD09A1 utilizado no trabalho traz informações de valores de reflectância na superfície do solo. Este produto é definido como a reflectância que pode ser mensurado na superfície do solo se não houvesse atmosfera (Vermote *et al.*, 2002). O produto é composto de 7 bandas espectrais, sendo 3 bandas do canal do infravermelho médio (1,1 a 3,0 μm), também chamado de infravermelho de ondas curtas, SWIR – *short wavelength infrared* (Jensen, 2009), 1 banda do infravermelho próximo (0,7 a 1,1 μm) e 3 bandas do canal do visível (Verde, vermelho e azul). A resolução espacial é de 500 metros e 16 bit de resolução radiométrica. A Tabela 1 apresenta o intervalo espectral das bandas espectrais utilizadas:

A opção pelo produto MOD09A1 foi por esse ser disponibilizado com a banda espectral verde, necessária para calcular o NDWI de McFeeters. A

Banda 2	Infravermelho Próximo (IVP)	841–876 nm
Banda 4	Verde	545–565 nm
Banda 5	infravermelho de ondas curtas- SWIR	1230–1250 nm
Banda 6	infravermelho de ondas curtas- SWIR	1628–1652 nm
Banda 7	infravermelho de ondas curtas- SWIR	2105–2155 nm

Tabela 1 Intervalo Espectral das Bandas do Sensor MODIS Produto MOD09A1.

imagem utilizada corresponde ao período de seca no Pantanal, sendo datada de setembro de 2014.

Para a visada completa de toda a região da planície pantaneira foram utilizadas duas cenas MODIS: MOD09A1.A2014249.h12v10.005 e MOD09A1.A2014249.h12v11.005. Os produtos MODIS são disponibilizados com correção geométrica e atmosférica e em formato HDF (*Hierarchical Data Format*), sendo necessário sua conversão em formato GeoTIFF para que possam ser um arquivo comum a todos os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A transformação de HDF para GeoTIFF foi realizado no software Qgis versão 2.14 (Qgis, 2014).

4 Resultados e Discussões

Foram gerados 4 produtos correspondentes ao NDWI: um NDWI utilizando-se da fórmula proposta por McFeeters; e outros 3 produtos calculados a partir da fórmula proposta por Gao. Para o método de Gao, que utiliza a banda do SWIR no cálculo, o NDWI foi processado 3x, em circunstância do produto MOD09A1 ser disponibilizado com 3 bandas espectrais inseridas dentro do intervalo espectral do canal do SWIR. Por desconhecer qual banda apresentaria melhores resultados, a opção foi por usar todas. A Figura 2 mostra a diferença visual entre os NDWIs calculados para o método de McFeeters e Gao.

Das 3 bandas espectrais do SWIR usadas para calcular o NDWI de Gao, a relação feita entre a banda 2 (IVP) e a banda 5 (SWIR) foi a que apresentou visualmente maior distinção entre feições terrestres. Nesta relação foi possível diferenciar vegetação arbórea de área úmida e água, visto que os pixels de água e área úmida apresentam uma coloração

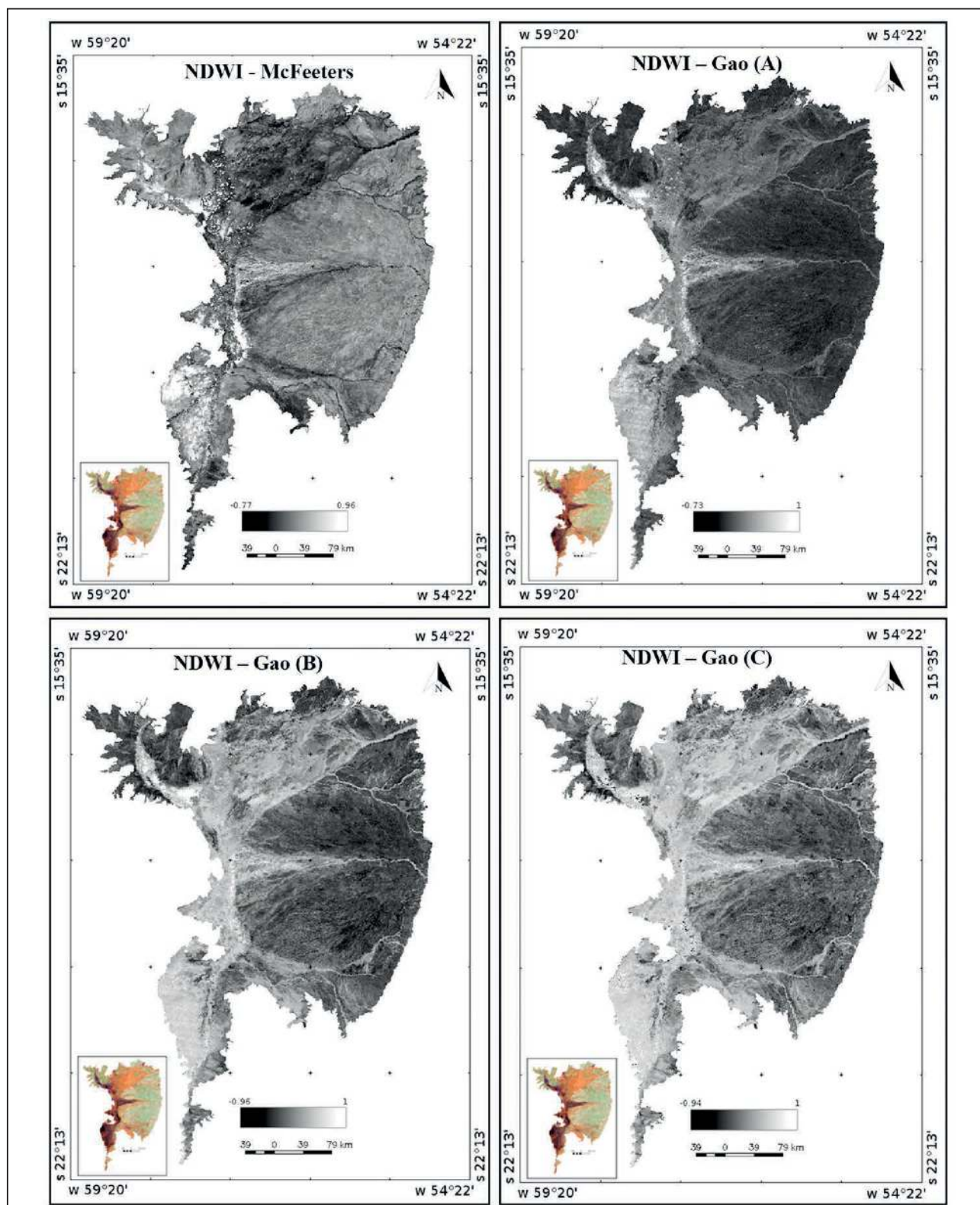


Figura 2 Comparação do NDWI no método de McFeeters e Gao. Para o método de Gao, o NDWI foi calculado nas 3 bandas espectrais que compõem a região do infravermelho médio no sensor MODIS. NDWI-Gao A. cálculo utilizando a banda 5. NDWI-Gao; B. cálculo utilizando a banda 6. NDWI-Gao; C. cálculo utilizando a banda 7. Composição falsa cor da imagem MODIS - R2G6B1.

mais clara (branca), enquanto os pixels de vegetação têm a coloração mais cinza. Entretanto, a separação de corpos aquosos e áreas úmidas usando-se desta relação de bandas espectrais, é mais incerto em uma interpretação visual.

No NDWI onde a relação é feita utilizando-se das bandas 6 e 7, os alvos terrestres como água, vegetação e solo úmido tendem a ser agrupados dentro de uma mesma faixa de tonalidade, gerando maior confusão visual entre as classes. Os alvos mais fáceis de distinção nestas relações de bandas espectrais ficam por conta dos solos mais secos e das gramíneas.

A melhor compreensão do aspecto visual necessitou de avaliação do comportamento espectral (Figura 3) de diferentes alvos da imagem, para isto, foi realizado uma análise dos valores digitais de pixels de 3 tipos de objetos: água, área úmida e vegetação. Desse modo, foi possível caracterizar a diferença de resposta espectral e sobreposição dos alvos nos métodos de McFeeters e Gao para a região. As amostras dos alvos foram escolhidas com base em uma imagem de composição falsa-cor e posteriormente teve seu comportamento espectral analisados em todos os NDWIs, a seleção de alvos foi realizada dentro dos limites da planície pantaneira.

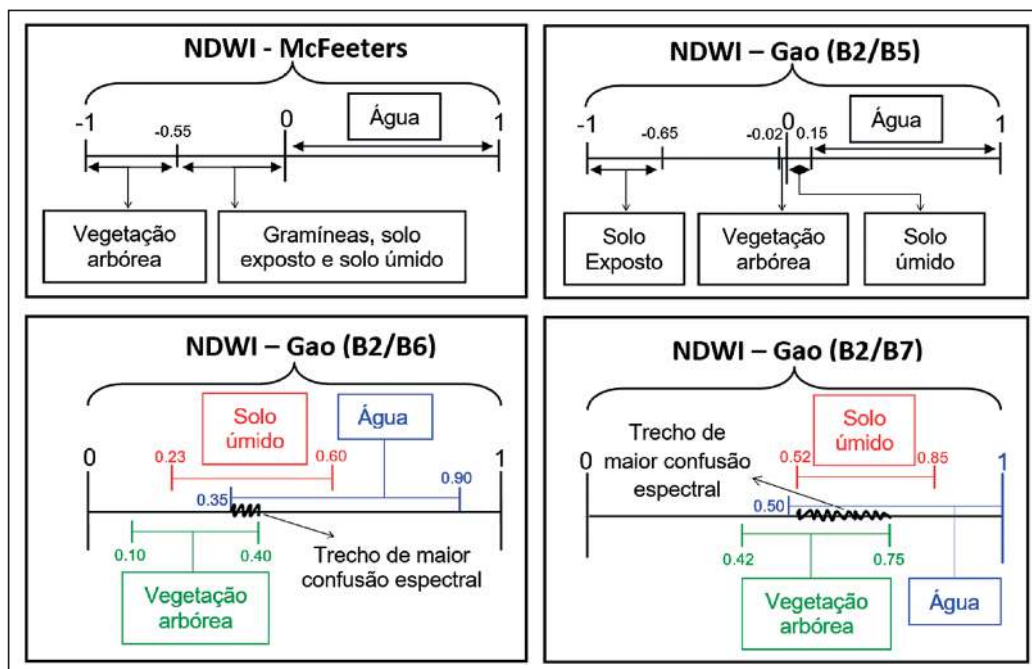
Como observado na análise visual e verificado na análise de comportamento espectral, a banda espectral 5 do MODIS foi a que respondeu de

maneira mais satisfatória as áreas úmidas, sendo possível discriminar os alvos espectrais a partir do valor do número digital apresentado pelo pixel, sem muita ocorrência de confusão espectral. Menciona-se a respeito do canal do SWIR no sensor MODIS que alguns autores se utilizam mais das bandas 6 e 7 em seus estudos, é o caso de Chen *et al.* (2005) onde para o intervalo do SWIR, o mesmo usou as bandas 6 e 7 para estimar o índice de água na vegetação com os índices espectrais NDWI e NDVI.

A reflectância de cada banda infravermelha média do MODIS responde de forma diferente para mistura de solo e apresenta variação de conteúdo de água presente na folha (Wang & Qu, 2007). Isso pode ser verificado na análise de comportamento espectral onde a relação entre bandas espectrais no NDWI de Gao obteve diferentes respostas de acordo a banda utilizada, sendo possível pontuar algumas destas diferenças de resposta entre os alvos e que acabou refletindo no aspecto visual da imagem resultante.

Através da análise de comportamento espectral é possível compreender porque os NDWIs gerados com as bandas 6 e 7 apresentaram alvos com pouca ou nenhuma variação entre os níveis de cinza, sendo incerto ou quase nulo a separação dos alvos na superfície. Na Figura 3 pode ser verificado que o intervalo espectral de alvos como água e solo úmido se sobrepõe, sobretudo na combinação entre

Figura 2 Comparação do NDWI no método de McFeeters e Gao. Para o método de Gao, o NDWI foi calculado nas 3 bandas espectrais que compõem a região do infravermelho médio no sensor MODIS. NDWI-Gao A. cálculo utilizando a banda 5. NDWI-Gao; B. cálculo utilizando a banda 6. NDWI-Gao; C. cálculo utilizando a banda 7. Composição falsa cor da imagem MODIS – R2G6B1.



banda 2 e banda 7 onde os alvos apresentaram maior confusão, dificultando a distinção de alvos. O solo úmido adotou o mesmo comportamento espectral do alvo água no NDWI calculado com a banda 7-SWIR, basicamente, não houve distinção entre água e solo úmido nesta combinação. Os poucos intervalos onde não ocorreram confusão na banda 7 foi o de 0.42 a 0.50, intervalo representado pelo alvo vegetação arbórea, e de 0.85 a 1 para a água. Na banda 6-SWIR o intervalo espectral sem confusão tem uma maior amplitude para a água sendo de 0.60 a 0.90.

No NDWI de McFeeters as feições hídricas como os corpos aquosos ficam em evidência, apresentado maior realce em relação a outras feições, sendo as únicas feições a aparecer com valores positivos. Isso pode ser constatado quando se observa visualmente o contraste entre as lagoas e os terrenos adjacentes. Muitas dessas lagoas apresentam entorno úmido, mas devido à diferença nos valores de números digitais de um alvo para o outro, os corpos hídricos têm maior realce, facilitando sua identificação. Alvos que não correspondem à água como solo úmido, solo exposto e vegetação rasteira, apresentaram confusão espectral, sendo registrados casos em que um mesmo valor digital corresponde aos diferentes alvos citados. Além da água, outro

alvo que destoa no NDWI de McFeeters por estar centrada em um intervalo de valores bem definidos é a vegetação. No método de McFeeters a vegetação arbórea apresenta valores que vão de -0.55 à -1, sendo o único alvo dentro desta faixa de valores, é um alvo que assim como a água não exibiu confusão espectral em relação a outros alvos.

Para pontuar a diferença de comportamento espectral dos alvos nos dois métodos, foram destacadas duas regiões (Figuras 4 e 5) do Pantanal. A Figura 4 ressalta uma área na porção Nordeste do Pantanal.

No NDWI de McFeeters todos os alvos, com exceção da água, têm comportamento espectral com valores negativos e essa diferença espectral foi nítida na Figura 4, onde as classes água e vegetação apresentaram um contraste muito alto entre elas. Isso tornou a identificação de áreas com vegetação arbórea mais simples, realçando regiões como as de APP (Figura 4-A), por exemplo.

Na comparação realizada entre as diferenças visuais dos NDWIs foi usado para demonstração do NDWI-Gao a relação feita com o uso das bandas 2 e 5. Esta foi a única relação entre bandas onde o NDWI-Gao apresentou valores negativos. Utilizando-se desta relação observou-se que a variação entre níveis

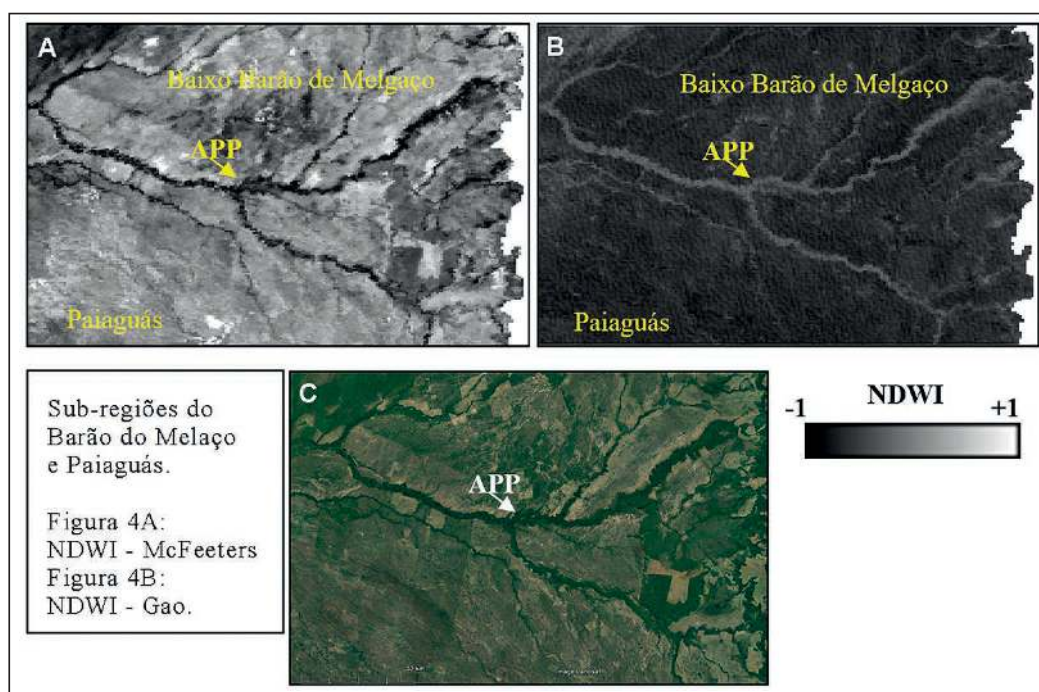


Figura 4 Análise pontual do NDWI de McFeeters e Gao, na porção Nordeste do Pantanal. A área em destaque engloba as sub-regiões do Baixo Barão de Melgaço e do Paiaguás. Na análise com o método de Gao foi utilizada a banda 5 – SWIR na comparação. A Área de Preservação Permanente (APP) selecionada é um ponto de fácil identificação na superfície.

de cinza de vegetação arbórea e água ocorre de forma gradual, diferentemente do que ocorre no NDWI-McFeeters. Em termos de delineamento hídrico, o NDWI-McFeeters tem resultados muito satisfatórios, como pode ser visto com a identificação do canal do Rio Paraguai (Figura 5).

As duas áreas selecionadas para comparação serviram para enfatizar as diferenças entre os métodos de Gao e McFeeters. Além disso, com a comparação entre os NDWIs foi possível discernir de maneira mais adequada o uso e aplicação de ambos para a região pantaneira.

Considerando os dados das interações entre bandas espectrais, nota-se que algumas técnicas de processamento de imagens não poderiam ser aplicadas de maneira satisfatória dependendo da banda espectral escolhida para o cálculo de NDWI. Como exemplo, nas bandas espectrais 6 e 7 os alvos solo úmido e vegetação apresentaram valores de pixels dentro da mesma faixa de valor digital, ou seja, se sobrepõem, dificultando a aplicação de uma análise que use os valores de número digital como aspecto de diferenciação de objetos. Essa confusão espectral observada implica em uma interpretação de imagens mais precisa quando faz se o uso de

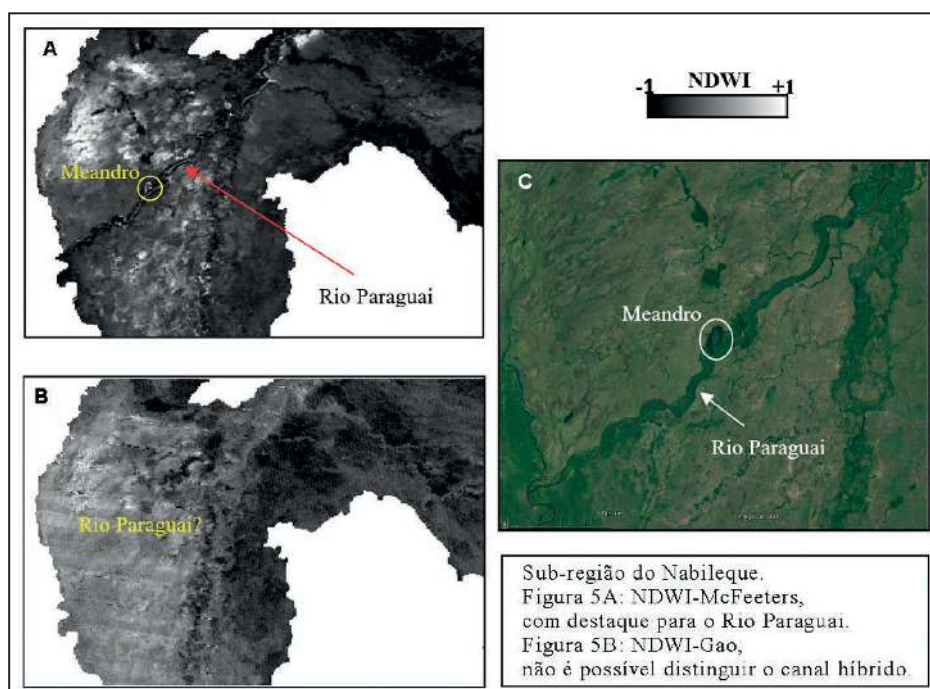
técnicas como a classificação supervisionada e/ou fatiamento sobre um produto de NDWI.

5 Considerações Finais

Entre as três bandas do canal SWIR utilizados para o cálculo do NDWI de Gao, o melhor resultado foi a relação utilizando-se da banda 5, sendo a relação onde o método apresentou menor confusão espectral. Utilizando-se da banda 5, o NDWI de Gao obteve melhor resposta na relação umidade e vegetação, apresentando um gradiente que varia o teor de umidade de áreas mais secas para as mais úmidas. Nesta relação os níveis de cinza apresentaram maior coerência com os objetos da superfície. Visualmente foi possível diferenciar entre tons de cinza de vegetação e solo exposto, além dos tons de preto variando de área úmida para a água. Nas bandas 6 e 7 a confusão espectral foi alta, principalmente entre os alvos de solo úmido e água.

Para uma região úmida, a capacidade de distinguir entre os teores de umidade do solo é uma resposta importante, visto que o solo úmido e/ou encharcado é o que caracteriza a região. A análise destes índices no Pantanal serviu para enfatizar

Figura 5 Em destaque o comportamento de feições hídricas nos NDWIs. Como proposto pelo método, o NDWI de McFeeters consegue distinguir as feições hídricas, mesmo em uma imagem com 500m de resolução espacial. No NDWI de Gao não é possível identificar as mesmas. O NDWI de Gao não tem por objetivo identificar feições hídricas, seu objetivo é de analisar o teor de umidade da vegetação. Essa comparação foi realizada com o intuito de realçar a diferença entre ambos, visto que é comum na literatura os dois serem usados como sinônimos. A região em destaque na figura trata-se de uma área no Pantanal do Nabileque, porção Sul do Pantanal.



a diferença entre ambos, além de permitir que os índices sejam aplicados de maneira adequada em estudos na planície pantaneira.

Neste contexto, usando-se da relação entre bandas 2 e 5, o NDWI de Gao conseguiu responder melhor a variação de umidade do solo. Entretanto, para identificação de cursos d'água e/ou corpos d'água (lagoas, baías, lagos, etc), feições que estão relacionadas a resposta da água diretamente, o NDWI de McFeeters é mais adequado. Além disso, por possuir resposta oposta a água, o NDWI de McFeeters consegue diferenciar satisfatoriamente feições de vegetação na superfície, dessa forma, também podendo ser aplicado com o intento de identificar áreas verdes no terreno.

Na relação solo e umidade o NDWI de McFeeters registrou confusão espectral em muitas situações, não sendo possível diferir o alvo por meio do valor do número digital. Alvos como solo seco, úmido, ou com cobertura de vegetação rasteira apresentaram-se dentro do mesmo intervalo de resposta espectral.

Como esperado e observado, o uso dos NDWIs estão condicionados ao objetivo da pesquisa. Se o objetivo é analisar feições hídricas, o NDWI de McFeeters é o mais indicado, no entanto, se o objetivo é umidade, o NDWI de Gao responde de forma mais satisfatória. Apesar disto já ser mencionado pelos autores de cada NDWI, ainda é possível encontrar trabalhos onde ambos os índices são usados como sinônimos, resultando na aplicação inadequada dos métodos.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelos recursos de Projeto Universal (Processo: 446058/2014-9) e pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo 304122/2015-7) de A.C. Paranhos Filho.

7 Referências

Ab'Sáber, A.N. 2006. Brasil, paisagem de exceção: o litoral e o Pantanal Mato-Grossense, patrimônios básicos. Cotia, SP: Ateliê Editorial.

Assine, M.L. 2005. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal

wetland, Brazil. *Geomorphology*, 70(3): 357-371.

Baig, M.H.A.; Zhang, L.; Wang, S.; Jiang, G.; Lu, S. & Tong, Q. 2013. Comparison of MNDWI and DFI for water mapping in flooding season. *In: IEEE INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM-IGARSS, IEEE*, 2013, p. 2876-2879.

Brenner, V.C. & Guasselli, L.A. 2015. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS-Brasil. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR*, 17, João Pessoa-PB, Brasil, 2015, *Anais*, 25: 3693-3699.

Chen, D.; Huang, J. & Jackson, T.J. 2005. Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near-and short-wave infrared bands. *Remote Sensing of Environment*, 98(2): 225-236.

França, A.F.; Tavares Junior, J.R. & Moreira Filho, J.C.C. 2012. Índices ndvi, ndwi e ndbi como ferramentas ao Mapeamento temático do entorno da lagoa olho d'água, em Jaboatão dos Guararapes-PE. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO*, 4, Recife-PE, 2012, p. 001-009.

Gao, B.C. 1996. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3): 257-266.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2006. Manuais: Tutorial de Geoprocessamento – Operação Aritmética. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/index.html>. Último acesso em 25/01/2016.

Jensen, J.R. 2009. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais*. São José dos Campos, Parêntese. 672p.

Ji, L.; Zhang, L. & Wylie, B. 2009. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(11): 1307-1317.

McFeeters, S.K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 1425-1432.

Memon, A.A.; Muhammad, S.; Rahman, S. & Haq, M. 2015. Flood monitoring and damage assessment using water indices: A case study of Pakistan flood-2012. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1): 99-106.

Mioto, C.L.; Paranhos Filho, A.C. & Albrez, E.D.A. 2013. Contribuição à caracterização das sub-regiões do Pantanal. *Entre-Lugar*, 3(6): 165-180.

Mwita, E.; Menz, G.; Misana, S.; Becker, M.; Kisanga, D. & Boehme, B. 2013. Mapping small wetlands of Kenya and Tanzania using remote sensing techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21: 173-183.

NRCan - Natural Resources Canada. 2013. Educational Resources: Flood Delineation e Mapping. Disponível em <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9301>. Último acesso em 06/09/2016.

Ozesmi, S.L. & Bauer, M.E. 2002. Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands ecology and management*, 10(5): 381-402.

Pott, A. & Pott, V.J. 2004. Features and conservation of the Brazilian Pantanal wetland. *Wetlands Ecology and Management*, 12(6): 547-552.

QGIS Development Team. 2014. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em <http://www.qgis.org/>.

Rosseto, O.C. & Girardi, E.P. 2012. Dinâmica agrária e sustentabilidade socioambiental no Pantanal brasileiro. *Revista NERA*, 21(15): 135-161.

Vermote, E.F.; El Saleous, N.Z. & Justice, C.O. 2002. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results. *Remote Sensing of Environment*, 83(1): 97-111.

Wang, L. & Qu, J.J. 2007. NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. *Geophysical Research Letters*, 34(20).