

## Avaliação espectral da umidade da vegetação por meio do Normalized Difference Water Index - NDWI

José Carlos de Souza<sup>1</sup>  
Elfany Reis do Nascimento Lopes<sup>1</sup>  
Jocy Ana Paixão de Sousa<sup>1</sup>  
Naia Godoy Padovanni<sup>1</sup>  
Maria Cintia Matias de Moraes<sup>1</sup>  
Jomil Costa Abreu Sales<sup>1</sup>  
Roberto Wagner Lourenço<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP  
<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Laboratório de  
Geoprocessamento e Modelagem Matemática Ambiental.  
Caixa Postal 18087180 - Sorocaba- SP, Brasil  
jcsouza1974@gmail.com

**Abstract.** Among the numerous applications of remote sensing we have the estimate of vegetation index and the evaluation of the spectral behavior of vegetation cover, in relationship atmospheric conditions of time. The goal this study is to estimate quantitatively the moisture content of vegetation through in the NDWI (Normalized Difference Water Index) and evaluate the temporal changes of this index, pixel by pixel, considering periods of rain and drought. The study was applied in the watershed of the river Una, in the municipality of Ibiúna, São Paulo. The NDWI was generated in the software ArcGis 10, using images of the sensor OLI/Landsat 8 of the months of January and August 2015. The index image generated was processed in the software Matlab 7.12 here was built a matrix, correlating the variations of the index, pixel by pixel, in both periods analyzed. The results showed direct influence of seasonality on the variation of index of moisture of the vegetation, showing loss in the water content of the vegetation in 73.03% of the pixels evaluated. The class of the NDWI that showed more marked change was the range 0.4 - 0.5 which ranged from 30.4%. Another evident factor is the influence of irrigated agriculture in the behavior of vegetation in January to 6.76% in August, where 5.92% of the pixels had higher NDWI values in the dry month.

**Palavras-chave:** Moisture of vegetation, Index image, Matrix, Pixels, Unidade da Vegetação, Imagem Índice, Matriz, Pixel.

### 1. Introdução

Uma das mais importantes aplicações das técnicas de sensoriamento remoto está relacionada à geração de índices de vegetação com vistas à avaliação da cobertura vegetal. Estes índices fundamentam-se nos valores de refletância ou radiância, apresentados pela cobertura vegetal, nas regiões espectrais do visível, do infravermelho próximo e do infravermelho de ondas curtas. Os índices são apontados como indicadores de crescimento e vigor da vegetação, e podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos, incluindo o índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética, produtividade e a presença de água na folhagem (PONZONI *apud* MARCUSSI et al., 2010; BOLFE, 2010; PONZONI, SHIMABUKURO, KUPPLICH, 2012).

Dentre os principais índices de vegetação utilizados na atualidade está o Índice de Água por Diferença Normalizada - NDWI (*Normalized Difference Water Index*). Este índice quantifica a umidade presente na estrutura foliar da vegetação, possibilitando a avaliação das mudanças na biomassa e no estresse hídrico das plantas. O NDWI é gerado utilizando as bandas espectrais centradas aproximadamente em 0,86  $\mu\text{m}$  e em 1,24  $\mu\text{m}$ , compreendendo as

regiões espectrais do infravermelho próximo e infravermelho médio (GAO, 1996; JENSEN, 2009).

Os valores do NDWI variam de -1 a 1, sendo que os valores negativos representam as nuvens, já os próximos de zero correspondem ao solo exposto ou sem vegetação, e quanto mais próximo de 1, maior a quantidade de água presente na vegetação (JENSEN, 2009; OLIVEIRA et al., 2010; HUANG, CHEN e COSH, 2009; SUN et al., 2013).

O objetivo deste estudo é estimar quantitativamente o índice de umidade da vegetação através do NDWI, utilizando imagens do sensor OLI/Landsat 8 e avaliar as alterações temporais do índice, pixel a pixel, considerando os meses de janeiro e agosto do ano de 2015.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Área de estudo

O estudo foi aplicado na Bacia Hidrográfica do rio Una, que compõe a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do rio Sorocaba e Médio Tietê. A bacia está localizada no município de Ibiúna, região Sudeste do estado de São Paulo, entre as coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) 263807 e 274706, 7365029 e 7384261 m N (zona 23 S), com uma área aproximada de 96.4 km<sup>2</sup> (Figura 1).

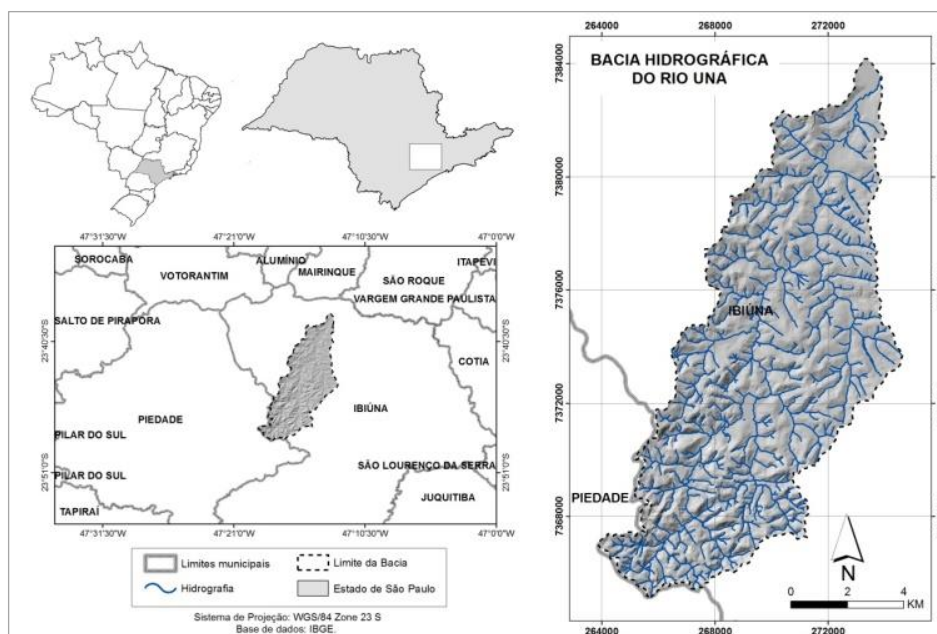


Figura 1. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Una.

### 2.2 Métodos

O cálculo do índice e os produtos cartográficos foram desenvolvidos no *software* ArcGis 10.3, a partir de imagens do sensor Landsat 8 imageador OLI (*Operacional Land Imager*). Para este estudo, foram utilizadas as bandas OLI5 (Infravermelho próximo) e OLI6 (Infravermelho de ondas curtas) datadas de 10 de janeiro e 22 de agosto de 2015 (USGS, 2015).

As imagens passaram pelo processo de conversão de números digitais para radiância espectral no topo da atmosfera (Equação 1); conversão da radiância do topo da atmosfera para refletância planetária no topo da atmosfera (Equação 2) e correção da refletância planetária (Equação 3):

$$L\lambda = M_L \cdot Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

$$\rho\lambda' = M\rho \cdot Q_{cal} + A\rho \quad (2)$$

$$\rho\lambda = (\rho\lambda' / \sin(\theta_{SE})) / (\rho\lambda' / \cos(\theta_{SZ})) \quad (3)$$

Em que:  $L\lambda$  = Radiância espectral do sensor de abertura ( $W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ );  $M_L$  = Fator multiplicativo de redimensionamento da banda;  $Q_{cal}$  = Valor quantizado calibrado pelo pixel em níveis de cinza;  $A_L$  = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda;  $\rho\lambda'$  = Refletância planetária no topo da atmosfera sem correção do ângulo solar;  $M\rho$  = Fator multiplicativo reescalonado da refletância da banda;  $A\rho$  = Fator aditivo reescalonado da refletância da banda;  $\theta_{SE}$  = ângulo de elevação solar e  $\theta_{SZ}$  = ângulo solar zenital local.

Os índices foram gerados considerando os meses de maior e menor totais de chuva, janeiro e agosto respectivamente, de acordo com as séries históricas do período de 1985 a 2014, levantadas junto ao Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas do estado de São Paulo (CIIAGRO/IAC, 2016).

Para o cálculo do índice foi utilizada a equação 4:

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad (4)$$

Em que:  $NIR$  é a refletância na faixa do infravermelho próximo (banda OLI 5) e  $SWIR$  é a refletância na faixa do infravermelho médio (banda OLI 6).

Após a geração dos índices foi feita uma reclassificação em que os valores negativos, por não apresentarem registro de vegetação, foram agrupados em uma só classe e os valores positivos, agrupados em intervalos de 0.1. Assim, foram definidas 8 classes e as imagens exportadas em formato *BMP (bitmap)*. No formato *BMP* as imagens foram processadas no software Matlab versão 7.12. onde por tabulação cruzada foi construída uma matriz de correlação pixel a pixel.

### 3. Resultados e Discussão

Os valores do NDWI oscilaram entre -0.22 e 0.65 no mês de janeiro e entre -0.31 e 0.75 para o mês de agosto. A Figura 2 apresenta o comportamento espacial do conteúdo de água na vegetação a partir dos mapas índices de NDWI dos dois períodos analisados.

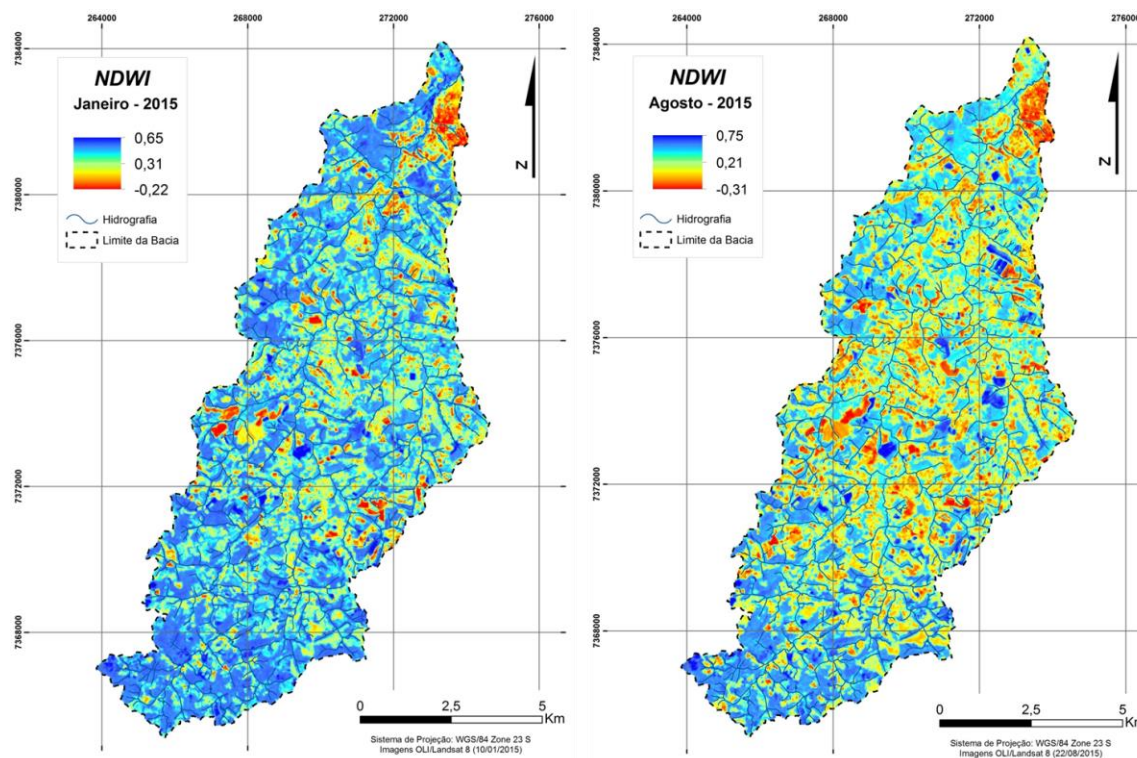


Figura 2. NDWI dos meses de Janeiro e Agosto da bacia do Rio Una.

Apesar de apresentar valores mais altos no mês de agosto, especialmente as ocorrências apresentam melhores condições de umidade na vegetação para o mês de janeiro, isso pode ser comprovado na imagem índice e no gráfico da Figura 3. As áreas que apresentaram valores de NDWI em agosto, maiores que os registrados em mês de janeiro, ou seja, superior a 0,65, representam percentualmente 0,01% da área da bacia e ocorreram em áreas agrícolas irrigadas, explicando o porquê de apresentarem valores elevados mesmo em período de estiagem.

O clima da bacia hidrográfica do rio Una, segundo a classificação de Köppen (apud COSTA e SILVA et al., 2016) é do tipo Cwb, apresentando verão chuvoso e inverno com pouca chuva. As médias históricas mensais de precipitação para o município de Ibiúna, referentes ao período de 1984 a 2014 registraram 241,9 mm de chuva para o mês de janeiro e 34 mm de chuva para o mês de agosto (CIAGRO/IAC, 2016). Estas condições climáticas corroboram com os resultados do NDWI, apresentado melhor condições de umidade na vegetação para o mês de janeiro.

Através do gráfico de distribuição percentual do NDWI (Figura 3), podemos evidenciar que 58% da área da bacia, no mês de janeiro, se enquadraram entre os valores 0,3 e 0,5. Em agosto, 65% da área foi classificada entre o intervalo de classes 0,1 e 0,4, evidenciando, em função da queda dos totais de chuva para o período, a perda de água da folhagem. A variação entre os dois meses se apresenta mais acentuada na classe 0,4 - 0,5, apresentando uma diferença de mais de 23% entre os dois períodos.

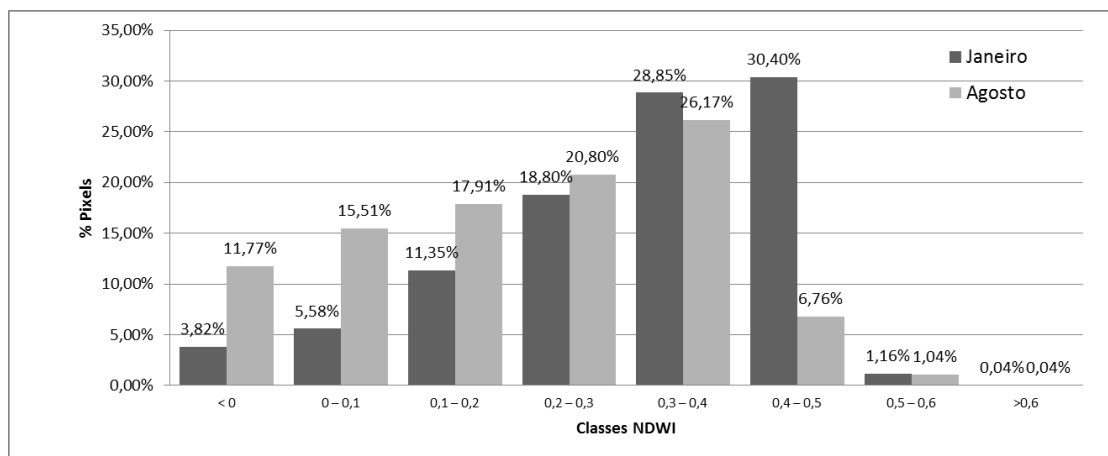


Figura 3. Distribuição percentual do NDWI por classes para os meses de janeiro e agosto.

Os histogramas de frequência das imagens índice de NDWI (Figura 4), apresentaram características de distribuição assimétrica negativa nos dois períodos. Observando-se um pico de frequência acentuado para o mês de janeiro com valores em torno de 0.40, já em agosto o pico de frequência mais pronunciado posiciona-se em torno do valor 0.30 e 0.40.

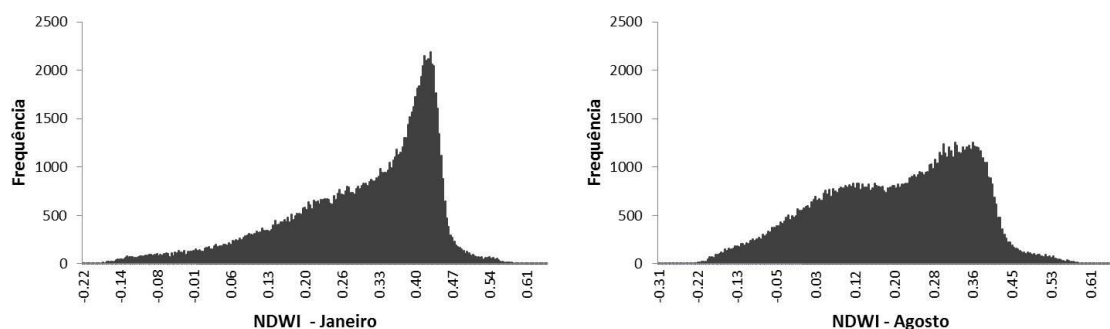


Figura 4. Histogramas de NDWI dos meses de janeiro e agosto.

A matriz (Tabela 1) apresenta os resultados da correlação entre as imagens índices de NDWI. Os valores que se posicionam na diagonal principal, destacado pela cor cinza, compreendem os pixels que permaneceram no mesmo valor em relação ao índice, no decorrer do período. Os valores que se posicionam direita da diagonal principal, são os pixels que apresentaram acréscimos e os valores à esquerda, os que apresentaram redução no NDWI. Quanto mais distantes os valores se encontram em relação a diagonal principal, maior a alteração nos valores do pixel, reduzindo ou aumentando seu valor, em relação ao teor de água na estrutura foliar.

Tabela 1: Matriz de correlação entre NDWI Janeiro e Agosto de 2015.

		NDWI Agosto							
		< 0	0 – 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,3	0,3 – 0,4	0,4 – 0,5	0,5 – 0,6	> 0,6
NDWI Janeiro	< 0	2325	579	475	312	204	139	60	2
	0 – 0,1	2776	1776	659	357	232	112	65	1
	0,1 – 0,2	2898	5224	2680	716	385	202	61	4
	0,2 – 0,3	2505	5804	7500	3160	738	260	167	5
	0,3 – 0,4	1586	2713	6792	13115	6328	355	26	2
	0,4 – 0,5	422	486	1044	4566	20082	5742	206	15
	0,5 – 0,6	87	25	39	45	75	432	536	5
	>0,6	18	11	3	4	0	0	0	8

A matriz indica que 21,05% dos pixels analisados permaneceram no mesmo intervalo de classes, ou seja, não havendo alterações nos índices de água presentes na folhagem; 5,92% dos pixels tiveram acréscimos em relação ao índice, indicando ganho em conteúdo de água e 73,03% dos pixels registraram perdas de água na vegetação, alterando os valores para classes inferiores. Considerando que estruturas não-vegetativas não possuem alterações no NDWI, então pode-se afirmar que a maior perda de água registrada neste estudo refere-se explicitamente à cobertura vegetal.

O percentual de pixels que apresentaram ganho de umidade para o período, apesar da redução das precipitações, está relacionado às áreas de cultivo agrícola de curto período e que são submetidas à irrigação de forma contínua, não apresentando redução da umidade ou estresse hídrico (OLIVEIRA et al., 2010).

Ainda em relação à matriz podemos destacar, dentre os pixels que tiveram perda de conteúdo de água, o valor 20082. Neste caso esse total de pixels saiu da classe [0,4 – 0,5] para a classe inferior [0,3 – 0,4]. O intervalo de classe [0,3 – 0,4] foi o que teve o maior número de pixels sem alteração (6328) e o maior número de pixels que tiveram ganhos em conteúdo de água (738), saindo da classe [0,2 – 0,3] em janeiro para [0,3 – 0,4] em agosto.

#### 4. Conclusões

Os resultados evidenciaram estreita relação entre a umidade atmosférica e as precipitações, na presença de água nas estruturas foliares. No entanto, a importância do trabalho está em quantificar e conhecer a dinâmica de reescalonamento dos pixels, no intuito de identificar as variações quantitativas do conteúdo de água na vegetação, sob condições de chuva e estiagem.

Os resultados indicaram alterações significativas no NDWI de janeiro para agosto onde foram registradas perdas em conteúdo de água na vegetação, em 73,03% dos pixels da imagem índice. A classe de NDWI que apresentou mudança mais acentuada foi o intervalo 0,4 – 0,5 que variou de 30,4% de janeiro para 6,76% em agosto. Outro fator evidenciado é a influência da agricultura irrigada no comportamento da vegetação, podendo apresentar valores altos mesmo em períodos de estiagem.

A possibilidade de quantificar as alterações, a partir da correlação dos pixels em matrizes apresenta-se como um instrumento eficaz, que pode contribuir para as inúmeras metodologias já existentes na literatura, aplicada ao comportamento espectral da vegetação.

## 5. Referências Bibliográficas

BOLFE, E. L. **Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de biomassa e de carbono em sistemas agroflorestais por meio de imagens orbitais.** 2010. 319 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS/ INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - CIAGRO/IAC. **Chuva mensal.** Disponível em: <<http://ciagro.sp.gov.br/ciagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>>. Acesso em: 11 set. 2016.

COSTA e SILVA, D. C. et al. Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.02, p. 627-642, 2016.

GAO, B. NDWI- a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, 58, 257-266, 1996

HUANG, J.; CHEN, D. ; COSH, M. H.. Sub- pixel reflectance unmixing in estimating vegetation water content and dry biomass of corn and soybean scrop land using normalized difference water index (NDWI) from satellites. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 30, n. 8, p.2075-2104, 2009.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

MARCUSSI, A. B. et al. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográficas. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, p. 41 – 53, 2010.

OLIVEIRA, T. H. et al. Índice de Umidade (NDWI) e Análise Espaço-Temporal do Albedo da Superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 2, n. 3, p.55-69, 2010.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação.** 2. Ed. Atualizada e ampliada – São Paulo: Oficina de textos, 2012.

SUN, H. et al. A new agricultural drought monitoring index combining MODIS NDWI and day–night land surface temperatures: a case study in China. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 34, n. 24, p.8986-9001, 2013.

**UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS).** Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 18 de Nov. de 2015.