

ANÁLISE DA VEGETAÇÃO RIPÁRIA EM BACIA HIDROGRÁFICA UTILIZANDO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO NORMALIZADA (NDVI) NO MUNICÍPIO DE MARINGÁ-PR

ANALYSIS OF RIPARIAN VEGETATION IN A WATERSHED USING NDVI INDEX IN MARINGÁ-PR

Heloise Beatriz Quesada¹, Guilherme Redondo¹, Lais Gimenes Vernasqui¹, Pedro Henrique Jandreice Magnoni¹, Eudes José Arantes¹

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campo Mourão, PR, Brasil

Correspondência para: Heloise Beatriz Quesada (heloisequesada@gmail.com)

doi: 10.12957/geouerj.2017.26737

Recebido em: 21 dez. 2016 | Aceito em: 31 jul. 2017



RESUMO

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) pode ser obtido a partir do processamento digital de imagens de satélite, baseado nas diferentes refletâncias que a cobertura vegetal emite a diferentes radiações solares. O objetivo deste estudo foi realizar a análise comparativa de diferentes valores NDVI da vegetação ripária de uma bacia hidrográfica localizada no município de Maringá-PR, de diferentes períodos de 2015. As imagens de satélite foram obtidas na página do United States Geological Survey, sendo utilizada a cena Landsat 8 223-076. O NDVI foi calculado no QGIS 2.8.8. Nas áreas mais próximas aos rios, foram verificados os maiores valores de NDVI, o que pode estar relacionado à disponibilidade hídrica e porte da vegetação. Os dados, juntamente com o teste de Kruskal-Wallis e similaridade, indicaram maior semelhança entre os meses referentes ao verão - outono, e inverno - primavera. Não houve relação clara entre as curvas do NDVI com a precipitação, temperatura e evapotranspiração, porém isso pode ser justificado pelo retardo entre a resposta do dossel em relação a mudanças ambientais. Tal comportamento poderia ser melhor observado com um período de dados maior, assim, sugere-se o uso de série histórica para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Processamento digital de imagens; landsat 8; fatores atmosféricos.

ABSTRACT

The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is obtained from satellite digital image processing, based on different reflectances that plants emit in different solar radiation. The aim of this study was the comparative analysis of different NDVI values found in riparian vegetation of a watershed, located in Maringá-PR, from different periods of 2015. The satellite images were obtained from the United States Geological Survey, being the Landsat 8 scene 223-076 used. The NDVI was calculated in QGIS 2.8.8. In the areas closest to the rivers, was verified the highest NDVI values, which may be related to water availability and size of vegetation. The data, along with the Kruskal-Wallis and similarity tests indicated higher similarity between the months of the summer - autumn, and winter - spring. There was no clear relation between the behavior of the variation of NDVI with precipitation, evapotranspiration and average temperature; however, this may be explained by the delay between the canopy to environmental changes. Such behavior could be understood with a longer data period, thus, the use of historical series is suggested for future works.

Keywords: Digital image processing; landsat 8; atmospheric factors.

INTRODUÇÃO

O estudo do uso da terra permite verificar diversos elementos da superfície terrestre, como por exemplo, áreas e formas de ocupação, atividades econômicas, áreas de vegetação, solos e água. No

Brasil, este estudo é uma ferramenta para o planejamento e organização do espaço, assim como a verificação das condições em que se encontram os recursos naturais. Nesse contexto, é necessário conhecer a dinâmica da vegetação em uma abordagem tanto temporal quanto espacial (GAIDA et al., 2012).

O desenvolvimento das cidades e o avanço econômico mundial têm requerido cada vez mais fontes de águas que sejam adequadas para diversas necessidades, como abastecimento, produção de alimento, fins industriais e recreação (GOLDSHIMIDT et al., 2016). Desse modo, a presença da vegetação ripária ao longo do leito dos rios pode ser considerada a primeira medida para o controle da quantidade e qualidade das águas correntes (HILL, 2000), sendo necessário entender sua dinâmica de funcionamento (FU; BURGHER, 2015).

A vegetação ripária, ainda segundo Hill (2000), é responsável por inserir substratos para organismos aquáticos, controlar a temperatura da água, realizar sombreamento, estabilizar a beira dos rios, diminuir a erosão, evitar a entrada excessiva de nutrientes nos rios e regular a quantidade de carbono orgânico dissolvido.

Contudo, existe uma dificuldade no monitoramento de áreas vegetais, usualmente ligada ao difícil acesso, ao tempo e recursos necessários. Nesse sentido, o sensoriamento remoto, por meio da utilização de imagens de satélites, permite a análise de diversas áreas em diferentes períodos e, conseqüentemente, a análise da dinâmica da vegetação (KELLOGG; ZHOU, 2014).

Uma alternativa para o monitoramento da cobertura do solo é o emprego de índices de vegetação que permitem monitorar e quantificar as condições biofísicas e a distribuição espacial da vegetação. Atualmente, tais técnicas são aplicadas em diversas escalas de análises para acompanhar a cultura agrícola, umidade do solo e estiagens (LIU, 2006).

O Índice de Diferença de Vegetação Normalizada (NDVI) é um dos mais importantes indicadores para a análise da cobertura de vegetação em diferentes períodos utilizando técnicas de sensoriamento

remoto. O objetivo deste índice é observar mudanças na cobertura do solo causadas por atividades antrópicas, assim como seu desenvolvimento (NATH, 2014).

O NDVI pode ser obtido a partir do processamento de imagens de satélite, baseado nas diferentes refletâncias que as plantas emitem a diferentes radiações solares (FU; BURGHER, 2015). Segundo Otto et al., (2011), tal índice é um bom indicador da condição que a vegetação se encontra de absorver a radiação fotossintética, permitindo a detecção do estresse da vegetação.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi à análise comparativa de diferentes valores NDVI da vegetação ripária de uma bacia hidrográfica localizada no município de Maringá, estado do Paraná, obtidos a partir de imagens de satélite de diferentes períodos do ano de 2015.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O município de Maringá está localizado ao Norte do estado do Paraná, entre as latitudes 23° 15' 15'' e 23° 33' 27''S, e entre as longitudes 51° 50' 05'' e 52° 05' 59''O. Encontra-se na Mesorregião Centro-Ocidental do Paraná, possuindo como valor médio de altitude 540 metros e área territorial de 486,433 km², sendo grande parte, aproximadamente 238 km², ocupada por lavoura temporária. A população do município, estimada para 2015, é de 397.437 habitantes (IPARDES, 2016).

A região está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, no Terceiro Planalto paranaense e pertence à área de abrangência dos basaltos oriundos de derrames basálticos da formação Serra Geral. Ainda, seu relevo possui dissecação baixa e topos alongados e aplainados, além de vertentes convexas e vales em “V” (MINEROPAR, 2006).

Os solos do município são considerados profundos, permeáveis, bem drenados, com alta capacidade de absorção de água e boas características físicas e químicas para o cultivo de vegetais. Nos topos e altas

vertentes predominam, principalmente, Latossolo Vermelho férrico e, nas médias e baixas vertentes, Nitossolo Vermelho férrico. Nas várzeas há presença de Gleissolo háplico (ALVES et al., 2008).

Em termos de vegetação o município de Maringá, é formado pela Floresta Estacional Semidecidual submontana (RODERJAN, 2002). Possui clima classificado por Köppen como subtropical úmido mesotérmico, Cfa (ITCG, 2008), com chuvas concentradas no verão, ausência de estação seca definida e temperatura variando entre 22 e 18°C. A média anual de precipitação varia entre 1.250 e 1.500 mm (SOUZA E GASPARETTO, 2010).

A bacia hidrográfica delimitada para aplicação da metodologia deste estudo, localizada no município de Maringá, Paraná, pode ser vista na Figura 1.

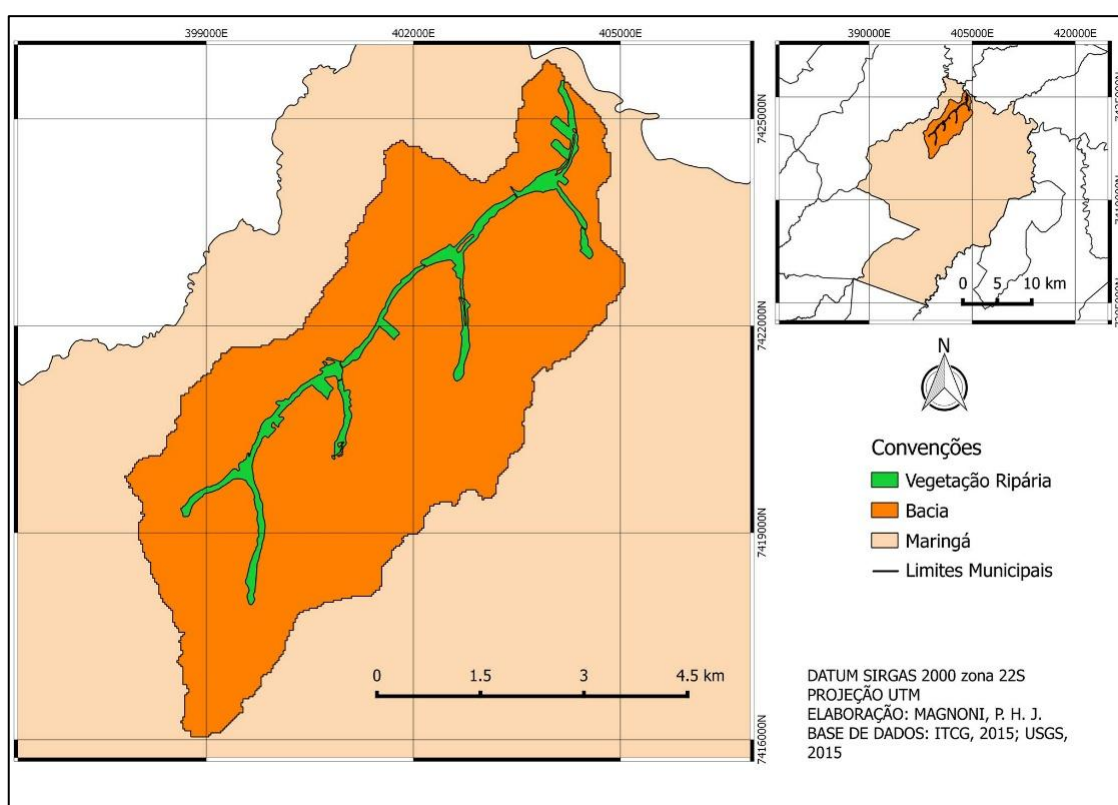


Figura 1. Evolução do PRONAF no Brasil (1995 – 2005): número de contratos e recursos (R\$).

Delimitação da bacia hidrográfica

A bacia escolhida como área de estudo de, aproximadamente 30 km², foi delimitada utilizando o software QGIS 2.8.8 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2016) através da aplicação do TauDEM (TARBOTON, 2010), com o uso de Modelo Digital de Elevação (MDE) 23S525ZN.

Obtenção das imagens de satélite e de dados atmosféricos

As imagens de satélite utilizadas no estudo foram obtidas gratuitamente na página do United States Geological Survey (USGS) Earth Explorer. Foram utilizadas oito cenas Landsat 8 do sensor OLI path-row 223-076 referente as datas: 22/01, 07/02, 23/02, 12/04, 02/08, 03/09, 19/09 e 21/10 do ano de 2015. As cenas que apresentavam mais de 10% cobertura de nuvens não foram utilizadas, o que justifica a ausência dos demais meses do ano na análise.

Os dados atmosféricos foram obtidos através da página do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2015).

Processamento das imagens

Após a obtenção das imagens foi realizado o processo de correção atmosférica pelo método TOA reflectance, com utilização do plugin Geosud TOA (OSE, 2016) no QGIS 2.8.8. As imagens corrigidas foram fusionadas através do software Orfeo ToolBox Monteverdi para reamostragem da resolução espacial dos píxeis (OTB DEVELOPMENT TEAM, 2016).

Cálculo do NDVI

O Índice de Diferença de Vegetação Normalizada (NDVI) foi calculado através da utilização da calculadora raster no QGIS 2.8.8, nas cenas 223-076, a partir da Equação 1:

$$\text{NDVI} = (\alpha_{(P(5))} - \alpha_{(P(4))}) / (\alpha_{(P(5))} + \alpha_{(P(4))})$$

(1)

Nessa equação $\alpha_{(P(5))}$ corresponde a banda 5, infravermelho próximo (NIR), e $\alpha_{(P(4))}$ a banda 4, do vermelho do satélite landsat 8. Como resultado foi obtido uma camada raster para cada cena com os valores de NDVI.

Determinação dos polígonos e extração dos atributos para as camadas vetoriais

As manchas de vegetação ripária da bacia foram determinadas mediante interpretação visual das imagens landsat, totalizando em oito polígonos. Estes, foram utilizados como camada máscara para recorte dos rasters de NDVI.

Com auxílio da extensão “estatística por zonas” no QGIS, foram extraídos e atribuídos aos polígonos os valores de NDVI calculados, resultando no valor médio do índice para cada polígono em uma determinada data.

Testes estatísticos

Com os valores médios de NDVI encontrados nos meses de estudo, foi aplicado o teste de Kruskal-Wallis para verificar a existência de diferença significativa entre as imagens analisadas. Quando observada ($p < 0,05$), o teste Dunn era aplicado para identificar entre quais imagens esta diferença aconteceu. De maneira complementar a análise anterior, foi aplicado o teste Cluster de Similaridade para verificar os resultados de NDVI semelhantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de correção atmosférica e a fusão de imagens proporcionaram um aumento na resolução espacial dos pixels de 30 para 15 metros, facilitando a classificação manual das áreas de vegetação ripária ao longo da bacia hidrográfica para posterior cálculo do NDVI.

O cálculo do NDVI, a partir da Equação 1, gera resultados entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1, mais densa e desenvolvida é a cobertura vegetal, já que maior é a refletância do infravermelho (vegetação sadia). Contudo, quando esse valor é negativo, maior é a refletância do visível, correspondendo ao comportamento dos corpos hídricos. Por sua vez, quando esse valor se aproxima de 0, a refletância é similar no visível e no infravermelho, sendo este o comportamento esperado para solo exposto (OLIVEIRA et al., 2012).

Para o cálculo do NDVI consideraram-se apenas as áreas de vegetação ripária ao longo da bacia, o que resultou somente em valores maiores que zero. A Figura 2 representa o NDVI encontrado para as cenas analisadas.

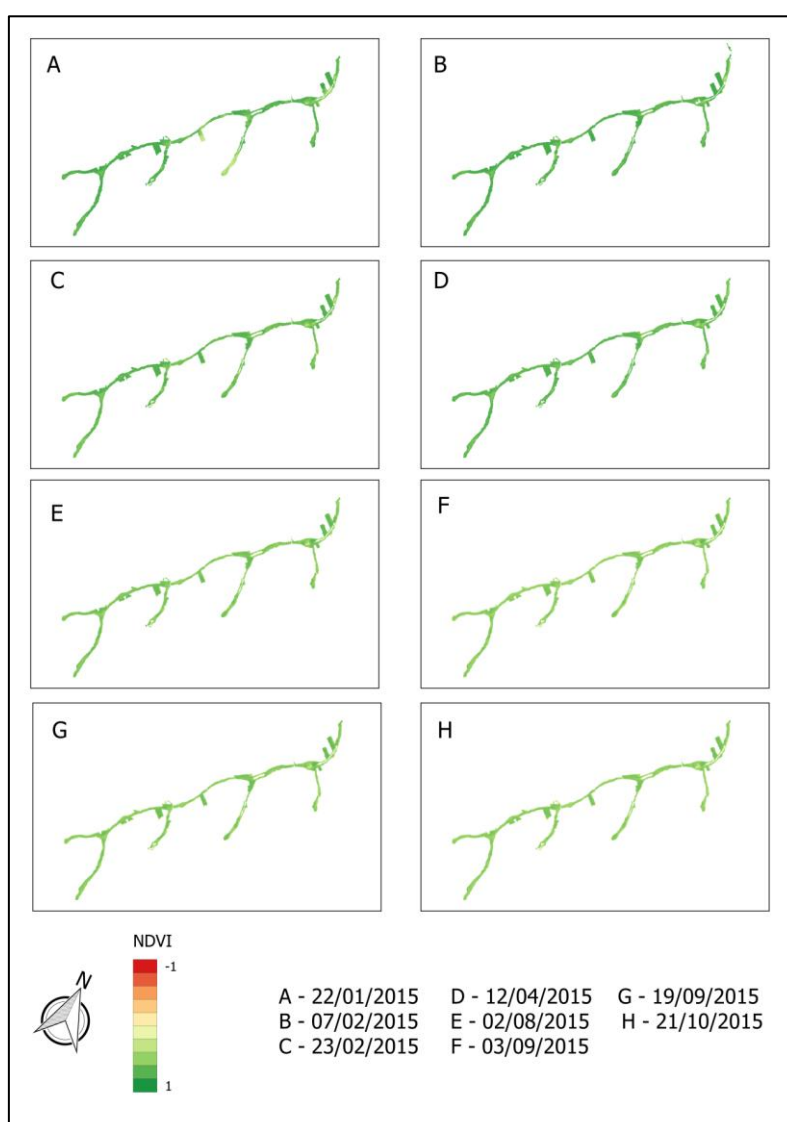


Figura 2. NDVI das cenas analisadas com escala de cores.

É possível observar a escala de cores na Figura 2 variando de vermelho a verde, representando os valores mais próximos de zero, que indicam menor vigor da vegetação, e os valores mais próximos de um, indicando maior vigor, respectivamente. Oliveira et al., (2012), indica que valores de NDVI acima de 0,3 correspondem a uma vegetação sadia. Nas cenas é possível notar a predominância de tons de verde claro a verde escuro, indicando valores maiores que essa faixa.

Nas áreas mais próximas aos cursos hídricos, referentes a parte central das manchas, foram verificados os maiores valores de NDVI, correspondentes aos tons mais escuros de verde, o que pode estar relacionado à disponibilidade hídrica e porte da vegetação ali presente. Ao contrário, puderam ser observados nas extremidades dos polígonos tons correspondentes a valores mais baixos, indicando um possível efeito de borda (Figura 3). Segundo Cândido et al. (2015), menores valores de NDVI representam uma vegetação de menor porte, umidade e densidade, tendo ausência de cobertura florestal.

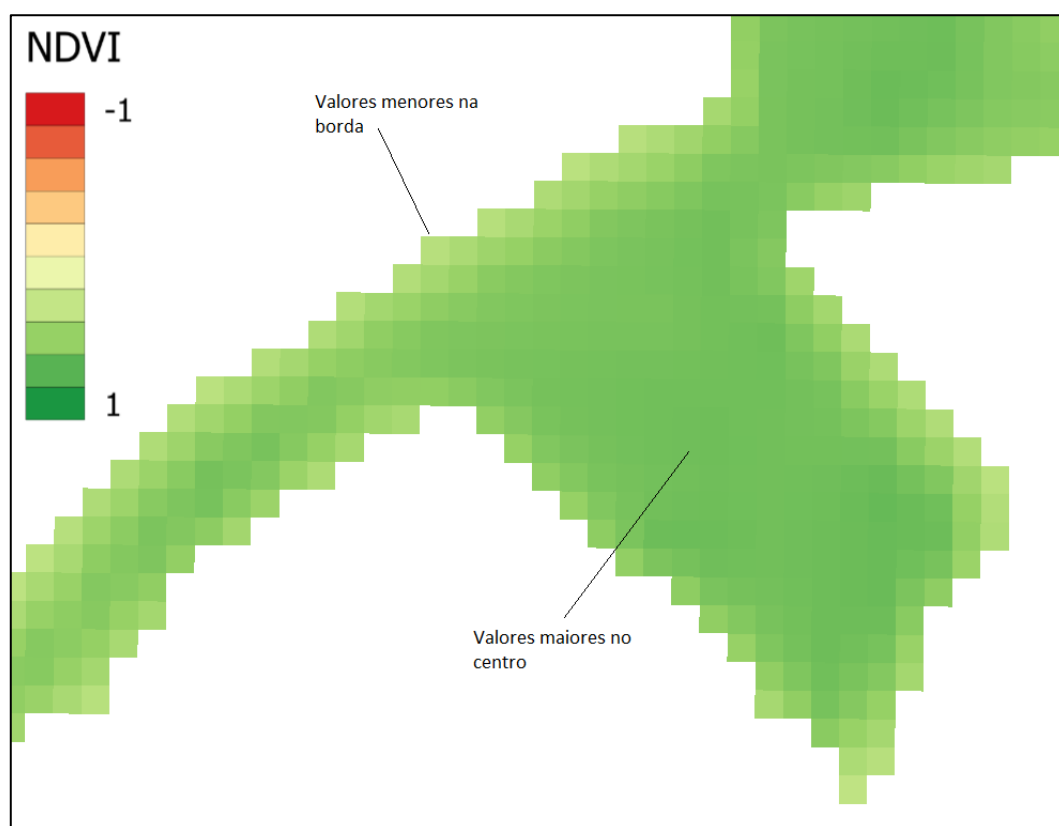


Figura 3. Variação da tonalidade dos pixels do centro das manchas para as bordas.

Os polígonos utilizados para o recorte da camada raster para extração dos atributos do NDVI estão apresentados na Figura 4.

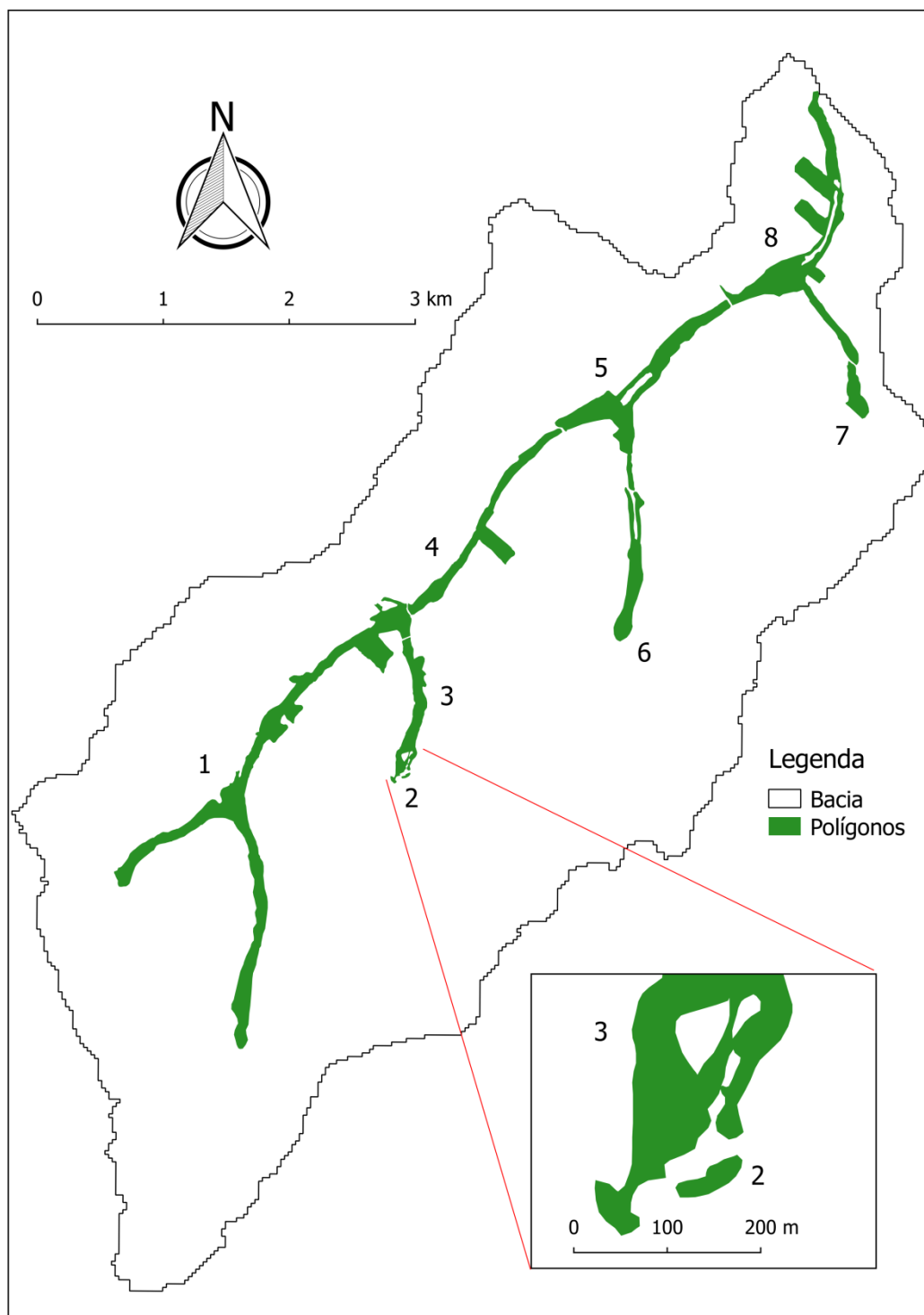


Figura 4. Polígonos utilizados para recorte da camada raster.

Os valores do índice encontrados para cada polígono de cada imagem e a média ponderada calculada estão expostos na Tabela 1.

Pol.	NDVI								Área (%)
	22/jan	07/fev	23/fev	12/abr	02/ago	03/set	19/set	21/out	
1	0,792	0,780	0,715	0,725	0,620	0,546	0,568	0,544	36,118
2	0,784	0,753	0,653	0,685	0,601	0,445	0,447	0,432	0,091
3	0,783	0,734	0,688	0,732	0,588	0,528	0,556	0,529	6,446
4	0,644	0,773	0,686	0,738	0,575	0,516	0,550	0,523	10,330
5	0,750	0,758	0,692	0,703	0,595	0,554	0,579	0,551	15,270
6	0,493	0,753	0,662	0,711	0,580	0,522	0,539	0,515	6,810
7	0,744	0,741	0,648	0,674	0,576	0,519	0,526	0,505	2,616
8	0,717	0,737	0,673	0,688	0,605	0,558	0,572	0,542	22,318
Média ponderada									
	0,731	0,761	0,692	0,713	0,602	0,543	0,565	0,538	

Tabela 1 - Valores de NDVI encontrados para cada polígono.

O maior e menor valor de NDVI encontrado para os polígonos analisados foi de, 0,792 (janeiro) e 0,432 (outubro), respectivamente. Já as maiores e menores médias de NDVI foram encontradas para as imagens datadas como 07 de fevereiro (0,761) e 03 de setembro (0,543), respectivamente.

Ainda no mês de janeiro é possível observar no polígono 6 um valor de NDVI próximo ao mais baixo encontrado (0,493), mesmo sendo a média deste mês a segunda maior encontrada.

O baixo valor encontrado nesse polígono em especial pode ser justificado pela presença de nuvens que interferiram no valor real do NDVI calculado, realçando a importância do uso de imagens com menor cobertura de nuvens possível. Essa interferência pode ser observada na Figura 5

O baixo valor encontrado nesse polígono em especial pode ser justificado pela presença de nuvens que interferiram no valor real do NDVI calculado, realçando a importância do uso de imagens com menor cobertura de nuvens possível. Essa interferência pode ser observada na Figura 5.



Figura 5. Interferência de nuvem no polígono 6.

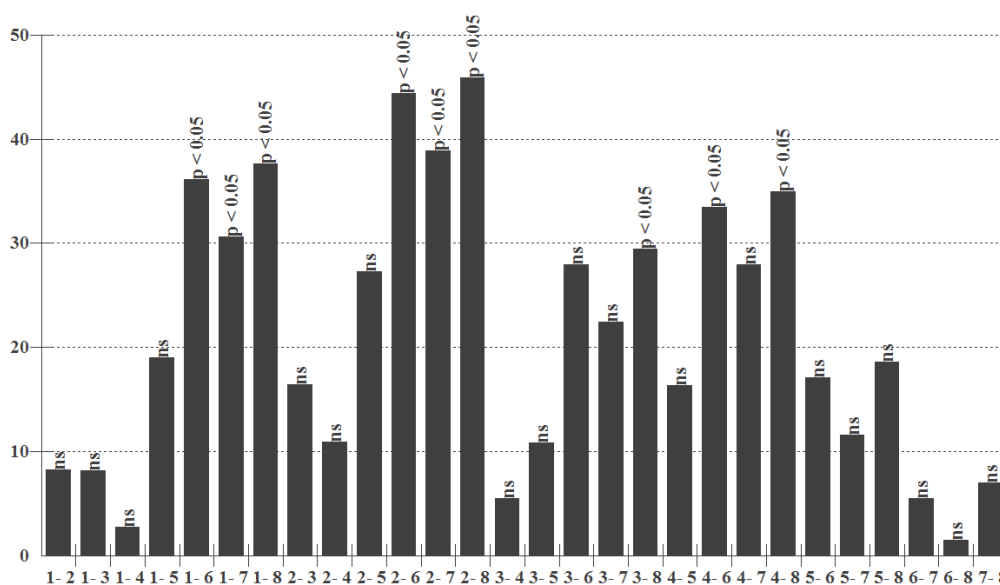


Figura 6. Resultado do Teste Kruskal-Wallis/Dunn.

Legenda - 1: 22/jan; 2: 07/fev; 3: 23/fev; 4: 12/abr; 5: 02/ago; 6: 03/set; 7: 19/set; 8: 21/out.

Os valores de NDVI obtidos para as cenas 22 de janeiro (0,731) e 07 de fevereiro (0,761), mostraram diferença significativa se comparados com os valores obtidos nas datas 03 de setembro (0,543), 19 de setembro (0,565) e 21 de outubro (0,538). Isso pode ser explicado pelo fato de que as duas primeiras

cenas foram as que originaram maiores médias. Além disso, as mesmas referem-se a meses de verão, enquanto as três últimas datas se encontram nas estações de inverno e início de primavera.

Em trabalho de Gaida et al. (2012), realizado na bacia hidrográfica do Alto Jucuí - RS, os valores de NDVI variaram de modo semelhante em área florestal no período de um ano e meio. Nos meses de inverno houve a diminuição do índice e aumento nos meses de verão. O efeito foi justificado por menor fotoperíodo no inverno, menor elevação solar e, em geral, menor atividade fotossintética. Segundo Rosa et al. (2013), a diferença do NDVI ao longo do ano pode estar relacionada com diferentes valores de precipitação, efeitos atmosféricos, iluminação, sombreamento interno do dossel e o dia selecionado para composição da imagem.

Ainda, a Figura 6 mostra a diferença significativa entre as datas 23 de fevereiro (0,692) e 21 de outubro (0,538); e 12 de abril (0,713) com 3 de setembro (0,543) e 21 de outubro (0,538), explicado pela diferença entre as médias calculadas e pelas diferenças nas estações do ano.

A partir disso, é possível relacionar as maiores e menores médias de NDVI, bem como as diferenças significativas encontradas com as estações do ano: as maiores médias foram encontradas para o verão e outono, enquanto as menores foram relacionadas com a primavera e o inverno. Essa condição foi complementada a partir da aplicação da Análise Cluster de similaridade (Figura 7).

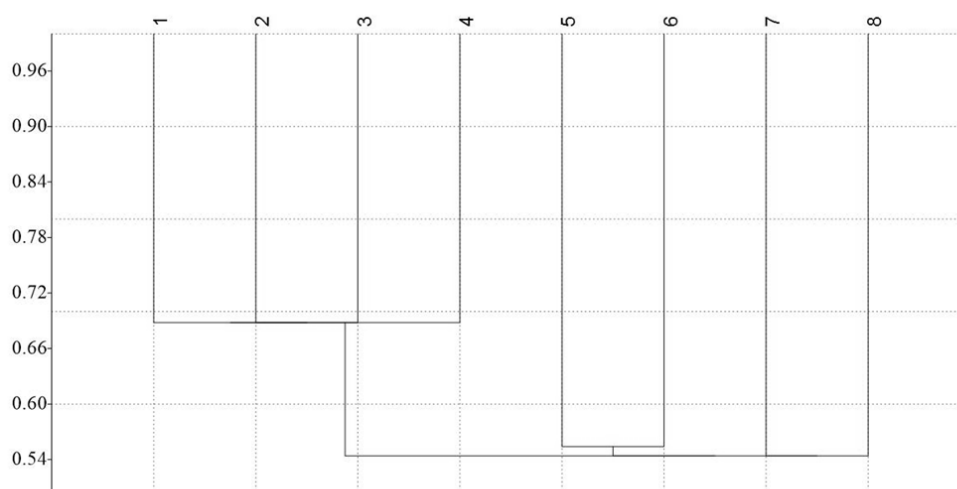


Figura 7. Resultado da Análise de Cluster de similaridade.

Na Figura 7 pode ser observado que houve similaridade de, aproximadamente, 70% entre as quatro primeiras datas analisadas: 22 de janeiro, 07 de fevereiro, 23 de fevereiro e 12 de abril, meses referentes às estações verão e outono. Foi possível ainda verificar similaridade de, aproximadamente, 55% para quatro últimas datas: 02 de agosto, 03 de setembro, 19 de setembro e 21 de outubro, meses que se encontram nas estações de inverno e primavera.

No levantamento de dados realizado para o ano de 2015 foram obtidos os seguintes fatores atmosféricos (Tabela 2): evapotranspiração real, precipitação mensal acumulada e temperatura mensal média.

Mês	NDVI	Evapotransp. (mm)	Precipitação (mm)	Temperatura média (°C)
Jan	0.731	149.339	236.000	26.147
Fev	0.761/0.692	115.577	214.300	24.910
Abr	0.713	97.084	91.400	23.597
Ago	0.602	82.777	53.700	22.554
Set	0.543/0.565	94.410	236.700	23.084
Out	0.538	125.473	312.300	25.249

Tabela 2. Fatores atmosféricos analisados para os meses de 2015.

Os Gráficos foram elaborados a fim de verificar a variação do NDVI com cada uma das variáveis (Figura 8). Para isso, foi considerada como valor de NDVI a média dos dois valores existentes para diferentes datas dos meses de fevereiro e setembro.

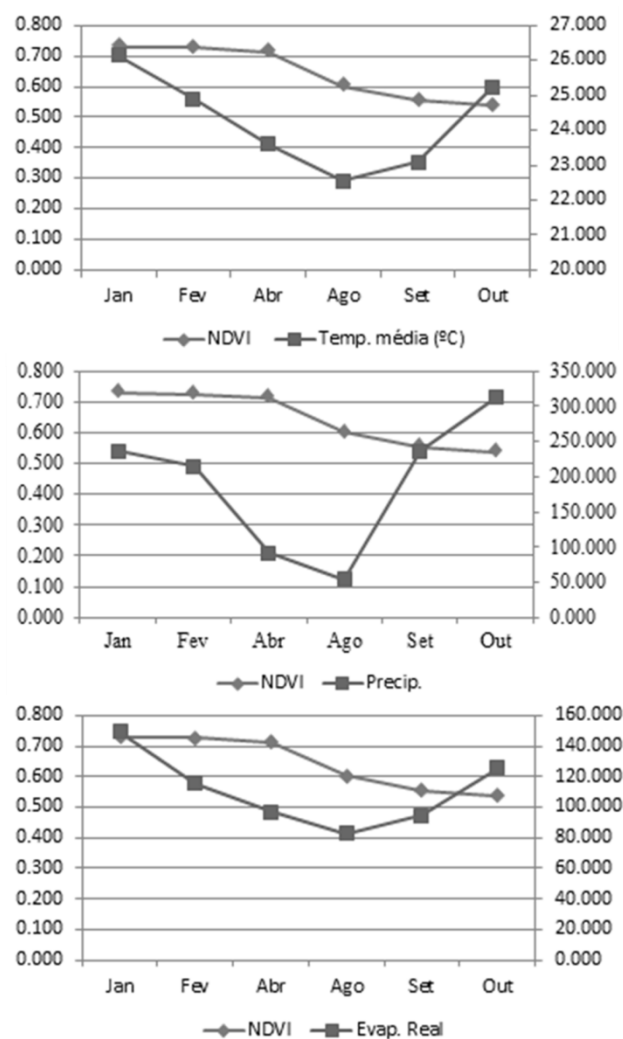


Figura 8. Fatores atmosféricos comparados ao valor médio de NDVI para cada mês.

É possível perceber que o NDVI e todas as variáveis analisadas sofreram, conjuntamente, uma queda durante a passagem do mês de abril para agosto (Figura 8). Esse fato reforça o que foi observado nos testes estatísticos: a similaridade entre os três primeiros meses e a diferença destes com os três posteriores.

Rosa et al. (2013) em estudo de índices de vegetação na Floresta do Parque Estadual do Turvo, observaram que a diminuição da precipitação resultou em menores valores do índice de vegetação, justificando tal fato pela diminuição da temperatura e, consequentemente, pela perda de folhas da floresta analisada no período de inverno, gerando menores valores de NDVI. A mesma dinâmica foi observada no presente estudo, visto que, segundo Leite (1994), as formações vegetais da floresta

estacional semidecídua apresentam como característica a queda parcial da folhagem em períodos desfavoráveis. Fator que pode afetar o resultado obtido pelo índice de vegetação.

Contudo, o aumento dos valores das variáveis analisadas não acompanhou a curva do índice de vegetação, apesar de uma notável suavização. Dalla Nora e Santos (2010), ao comparar o NDVI com a temperatura, observaram um retardo entre a resposta do dossel em relação às variações de temperatura em cenas do Parque Nacional das Araucárias e do Parque Estadual do Turvo, ambos localizados no estado do Rio Grande do Sul, no ano de 2008. Os autores justificaram tal comportamento devido à existência de um atraso na resposta fenológica quanto à temperatura, pois as espécies respondem posteriormente a mudança ambiental. Considerando o exposto, essa justificativa também pode ser aplicada a variável precipitação e evapotranspiração.

CONCLUSÃO

Os valores de NDVI obtidos no estudo indicaram a qualidade da vegetação ripária da bacia ao longo do ano. A partir da diferença de tonalidade foi possível concluir que o NDVI das diferentes datas se mostrou maior nas áreas próximas do curso d'água e em manchas de vegetação maiores, sendo este valor menor nas áreas de borda dos polígonos. A primeira constatação pode inferir o efeito positivo que a disponibilidade hídrica tem no vigor da vegetação, já a segunda o efeito de borda que costuma atingir os fragmentos.

Com os testes estatísticos foi possível observar a diferença que o índice apresentou nas estações do ano. Contudo, o aumento dos valores das variáveis analisadas não acompanhou a curva do índice de vegetação, o que pode ser justificado pelo retardo entre a resposta do dossel em relação às variações de temperatura, precipitação e evapotranspiração. Tal comportamento poderia ser melhor observado com um período maior de dados. Assim, sugere-se o uso de séries históricas para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Grace. B.; NAKASHIMA, Marcelo. R.; NAKASHIMA, Paulo. Alteração das propriedades físicas dos solos, em decorrência do uso e manejo, no município de São Carlos do Ivaí/PR. *Geografia. Ensino & Pesquisa (UFMS)*, v. 12, p. 1621-1635. 2008.
- CÂNDIDO, Anny K. A. A.; SILVA, Normandes M. da; BARBOSA, Domingos S. Dinâmica espacial do uso do solo e índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) em Setor de Cabeceira do Rio São Lourenço, Campo Verde, MT. *Revista Ra'e Ga, Curitiba*, v.33, p. 94-119. 2015.
- DALLA NORA, Elói Lennon; SANTOS, José Eduardo dos. Análise da dinâmica sazonal de duas formações florestais do bioma Mata Atlântica com base em índice de vegetação. *Perspectiva*, v. 34, n. 125, p. 41-51. 2010.
- FU, Baihua; BURGHER, Isabela. Riparian vegetation NDVI dynamics and its relationship with climate, surface water and groundwater. *Journal of Arid Environments*, v.113, p. 59-68. 2015.
- GAIDA, William; FILHO, Waterloo P.; WACHHOLZ, Flávio; KONRAD, Carlos G. Dinâmica da vegetação e uso da terra com uso do NDVI na bacia hidrográfica do Alto Jucuí. *Geo UERJ*, n. 23, v. 2, p. 684-698. 2012.
- GOLDSHIMIDT, Tom; HELSON, Julie E.; WILLIAMS, D. Dudley. Ecology of water mite assemblages in Panama – First data on water mites (Acari, Hydrachnidia) as bioindicators in the assessment of biological integrity of neotropical streams. *Limnologia*, v.59, p. 63-77. 2016.
- HILL, Alan. R. Stream Chemistry and Riparian Zone. In: JONES, Jeremy B.; MULHOLLAND, Patrick J. *Streams and ground Waters*. Academic Press, 425p. p.83-93. 2000.
- Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná (ITCG). Mapa climático do Estado do Paraná. 2008.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Banco de Dados Meteorológicos Para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 17 junho, 2016.
- Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES). Caderno Estatístico Municipal de Maringá. 2016.
- KELLOGG, Christopher H.; ZHOU, Xiaobing. Impact of the construction of a large dam on riparian vegetation cover at different elevation zones as observed from remotely sensed data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.32, p.19-34. 2014.
- LEITE, Pedro. F. As diferentes unidades fitoecológicas da Região Sul do Brasil. Proposta de classificação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 160 p. Curitiba, 1994.
- LIU, William. T. H. Aplicações de sensoriamento remoto. 2 ed. Campo Grande: UNIDERP, 2006.
- Minerais do Paraná (MINEROPAR). Atlas Geológico do Estado do Paraná. Curitiba, 2006.
- NATH, Biswajit. Quantitative Assesment of Forest Cover Change of Apart of Bandarban Hill Tracts Using NDVI Techniques. *Journal of Geosciences and Geomatics*, v. 2, n. 1, p. 21-27. 2014.
- OLIVEIRA, Letícia C. B. de.; GUASSELLI, Laurindo A.; ANTUNES, Roberto L. dos S. Variação espaço temporal de NDVI no Rio Madeira, na área de aproveitamento hidrelétrico da UHE Santo Antônio – RO. *Revista Geonorte*, v.2, n.4, p.1823-1832, 2012.
- OSE, Kenji. Plugin: Geosud Toa Reflectance: TOA reflectance conversion for Satellite data. Disponível em: <<https://plugins.qgis.org/plugins/geosudRefToa/>>. Acesso em: 20 junho. 2015.

OTB DEVELOPMENT TEAM, 2016. Orfeo Toolbox: Monteverdi. Disponível em: <<https://www.orfeo-toolbox.org/>>. Acesso em: 15 junho, 2016.

OTTO, Marco; SCHERER, Dieter; RICHTERS, Jochen. Hydrological differentiation and spatial distribution of high altitude wetlands in a semi-arid Andean region derived from satellite data. *Hydrology and Earth Systems Science*, 15, p. 1713-1727, 2011.

QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2016. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org/en/site/>>. Acesso em: 15 junho, 2016.

RODERJAN, C. V., et al. As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil. *Ciência & Ambiente*, v.24, n.1, p.75-92. 2002.

ROSA, Paulo A.; BREUNIG, Fábio M.; BALBINOT, Rafaelo; GALVÃO, Lênio S. Dinâmica da Floresta do Parque Estadual do Turvo com Índices de Vegetação. *Revista Floresta e Ambiente*, v.20, n.4, p.487-499. 2013.

SOUZA, V.; GASPARETTO, N. V. L. Avaliação da erodibilidade de algumas classes de solos no município de Maringá por meio de análises físicas e geotécnicas. *Boletim de Geografia*, Maringá, p.267-278. 2010.

TARBOTON, David. G. Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM). 2010. Disponível em: <<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem3.1/#intall>>. Acesso 16 de junho, 2016.