



Avaliação sazonal da vegetação através da correlação entre NDVI e NDWI, no município de Votorantim, São Paulo, Brasil

José Carlos de Souza¹, Elfany Reis do Nascimento Lopes², Roberto Wagner Lourenço³

¹Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, São Paulo. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Email:jose.souza@posgrad.sorocaba.unesp.br

²Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, São Paulo. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Email:elfany@posgrad.sorocaba.unesp.br

³Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, São Paulo. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

Email:robertow@sorocaba.unesp.br

Resumo

Este artigo teve como objetivo estimar e avaliar as alterações sazonais da vegetação no município de Votorantim, São Paulo, Brasil, através da utilização de tecnologias de sensoriamento remoto por meio dos índices NDVI e NDWI. Os índices foram gerados no *software* ArcGis 10.3, utilizando imagens do sensor OLI/Landsat 8 dos meses de janeiro e agosto do ano de 2015, que apresentaram, respectivamente a maior e a menor média mensal dos totais de chuva nos últimos trinta anos para a área de estudo. Os resultados apontaram que o vigor da vegetação e os teores de umidade apresentaram relação direta com a variação sazonal para ambos os índices, com quedas representativas para o mês de agosto. Essas condições evidenciaram também a associação entre produção de biomassa vegetal e teor de umidade. Os intervalos dos índices indicaram que Votorantim é caracterizada por uma alta taxa de urbanização, silvicultura, vegetação natural de mata atlântica e rede hidrográfica, sendo a silvicultura responsável pelas maiores áreas dos intervalos de NDVI. Os índices mostraram-se tecnologias potenciais para avaliação e monitoramento da condição vegetativa, podendo assim contribuir para a conservação de áreas verdes.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Conservação ambiental. Índices ambientais

Área Temática: Tecnologias Ambientais.

Seasonal evaluation of vegetation through the correlation between NDVI and NDWI in the municipality of Votorantim, São Paulo, Brazil

Abstract

This article aimed to estimate and assess the seasonal changes of vegetation in the municipality of Votorantim Sao Paulo Brazil through the use of remote sensing technologies through NDVI and NDWI indices. The indexes were generated in the ArcGis software 10.3 using images of the sensor Landsat 8/OLI to months January to August from the year 2015 that presented the largest and the smallest average monthly rain totals for the past 30 years to the study area. The results showed that the effect of vegetation and moisture levels feature a direct relation with the seasonal variation for both indices for the month of August. These conditions showed the association between plant biomass production and moisture content. The ranges of the indexes indicated that Votorantim is characterized by a high rate of



urbanization, forestry, natural vegetation of the Atlantic forest and river, being responsible for major of the NDVI variation. The indexes potential were technologies for evaluation and monitoring of the vegetative condition and contribution to the conservation of green areas.

Keywords: Remote sensing. Environmental conservation. Environmental indexes.

Theme Area: Environmental Technologies

1. Introdução

As tecnologias de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas como ferramentas de análise ambiental, e a disponibilidade de imagens de média resolução de forma gratuita, como é o caso das imagens do sensor OLI acoplado ao satélite Landsat-8, tem favorecido sua aplicação em diversas áreas do conhecimento.

O sensoriamento remoto refere-se à medida indireta da energia eletromagnética emitida, usando uma câmera ou sensor, que permitem o processamento de grandes quantidades de dados, correlação entre bandas espectrais e parâmetros de vegetação, levando a uma melhor compreensão de como as mudanças e as características da vegetação ocorrem (AHAMED et al., 2011; ABREU & COUTINHO, 2014). Essas avaliações se baseiam na estimativa quantitativa da vegetação verde por meio de índices que mensuram a quantidade de biomassa por meio da refletância ou radiância espectral (BOLFE, 2010).

A análise de imagens via sensoriamento remoto, pode ser realizada através de índices capazes de transformar dados multiespectrais, em uma única banda de imagem e aferir a distribuição e a quantidade de vegetação e umidade presente no pixel.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é um dos índices mais utilizados devido a sua capacidade de avaliar o vigor da vegetação e da concentração de biomassa. Este índice é estimado através das bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo e seu produto apresenta respostas em um intervalo entre -1 a 1 em cada pixel, considerando a vegetação saudável em torno de 0,2 e 1 e os valores negativos indicam a ausência de cobertura vegetal e nuvens (ROUSE et al., 1973; PONZONI & SHIMABUKURO, 2007; ZANZARINI et al., 2013; JOHANSEN & TOMMERVIK, 2014; MEI et al., 2015).

O Índice de Água por Diferença Normalizada - NDWI (*Normalized Difference Water Index*) estima a umidade presente na estrutura da vegetação, buscando mensurar o conteúdo de água, as mudanças na biomassa e no estresse das plantas. Este índice é gerado utilizando-se as bandas espectrais do infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas e seus resultados se apresentam no intervalo de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 maior a umidade (GAO, 1996; JENSEN, 2009).

Deste modo, este artigo tem como objetivo estimar e avaliar as alterações sazonais da vegetação no município de Ibiúna, São Paulo, Brasil, através da utilização de tecnologias de sensoriamento remoto por meio dos índices NDVI e NDWI.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

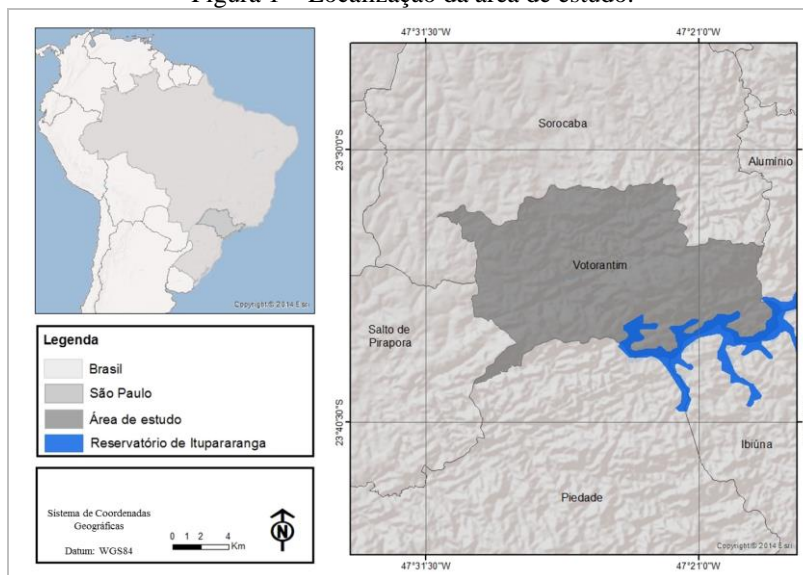
O município de Votorantim encontra-se localizado no estado de São Paulo, Brasil, compondo a Mesorregião Macro Metropolitana Paulista e a Microrregião de Sorocaba, estando a 108 km de distância da capital. Com uma população estimada em 117.794 habitantes, o município possui uma área territorial equivalente a 183, 517 km e densidade demográfica de 591,04 hab/km². A cidade posiciona-se nas coordenadas geográficas de



23°32'48'' Lat. S e 47°26'16'' Long. W, fazendo limite com os municípios de Alumínio a leste, Sorocaba a norte, Salto de Pirapora a oeste, Ibiúna a sudeste e Piedade a sul (Figura 1).

O município apresenta uma altitude média de 557 metros, caracterizado por relevo acidentado e histórico de ocupação marcada pela alta disposição industrial, com áreas de mineração e silvicultura. A cidade encontra-se inserida no bioma Mata Atlântica e apresenta relevante interesse para a conservação ambiental de seus recursos naturais, pois abriga parte do reservatório e APA de Itupararanga, importante para o abastecimento hídrico regional no estado (IBGE, 2015; VOTORANTIN, 2015).

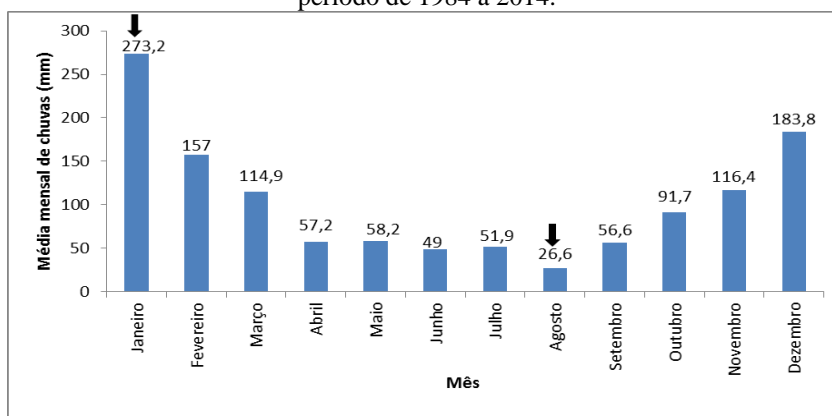
Figura 1 – Localização da área de estudo.



2. 2 Métodos

Os meses escolhidos para a análise, janeiro e agosto, se justificam por apresentarem a maior e a menor média de chuva para a série histórica, entre os anos de 1984 a 2014, no município de Votorantim, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Médias mensais de precipitação do município de Votorantim no período de 1984 a 2014.



Fonte: www.ciiagro.sp.gov.br

Os índices foram gerados a partir da aquisição de imagens multiespectrais, do sensor acoplado ao satélite Landsat 8 (OLI), obtidas gratuitamente através do Serviço Geológico do Estados Unidos. Foram selecionadas duas imagens com baixa nebulosidade e alta luminosidade, sendo a primeira datada em 10 de janeiro de 2015 e a segunda datada em 22 de



agosto de 2015, ambas da cena 219/076. Foram utilizadas as bandas espectrais 4, 5 e 6, com resolução espacial de 30 metros, correspondentes ao Vermelho, Infravermelho Próximo e Infravermelho de Ondas Curtas, respectivamente.

As imagens foram reprojatadas para o Hemisfério Sul e através do módulo de processamento da calculadora *raster* e *image analysis* do *software* ArcGis 10.3 (ESRI, 2014) foram estimados os índices por meio das equações propostas por Rouse *et al.* (1973) para o NDVI e de Gao para o NDWI (1996), conforme abaixo:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

$$\text{NDWI} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

Onde:

NIR – banda na faixa do infravermelho próximo;

RED - banda na faixa do vermelho;

SWIR – banda na refletância na faixa do infravermelho de ondas curtas.

3. Resultados de discussões

Os resultados do NDVI foram classificados em sete classes, a fim de tornar a análise mais detalhada atribuindo os intervalos de respostas indicados para avaliar o teor de biomassa para o período analisado. As áreas que apresentaram valores com $\text{NDVI} \geq 0,5$ foram consideradas de vegetação densa e nativa, já os valores de $\text{NDVI} < 0,5 > 0,2$ como regiões de produção agrícola, silvicultura ou com pouca vegetação, $\text{NDVI} < 0,2 > 0$ como áreas edificadas e com ausência de vegetação e $\text{NDVI} < 0$, áreas com presença de água ou nuvens (MYNENI *et al.*, 1995; SLAYBACK ET AL., 2003; DELBART *et al.*, 2006). Já para o NDWI, foram definidas cinco classes com intervalos entre < 0 que corresponde a ausência de umidade, seja nas áreas urbanas ou vegetadas e > 5 áreas com alto teor de umidade na vegetação.

O município de Votorantim apresentou NDVI e NDWI com acentuada variação sazonal entre os períodos analisados. Em janeiro, no período úmido, o NDVI apresentou intervalos entre -0,20 a 0,67 e valor médio de 0,38, enquanto em agosto, no período seco, os intervalos foram concentrados entre -0,14 a 0,53 e valor médio de 0,26. Para o NDWI, o mês de janeiro apresentou intervalos entre -0,18 e 0,43 e valor médio de 0,20, enquanto o mês de agosto obteve intervalos entre -0,61 e 0,43 e valor médio de 0,10.

Se apenas os valores médios do NDVI for considerado, pode-se afirmar que o município apresenta áreas com altas taxas de áreas agrícolas, silvicultura e baixa presença de vegetação densa. Já para o NDWI, pode-se afirmar que o município possui baixa taxa de umidade e, consequentemente, maior perda de água para a atmosfera e baixa taxa de produção de água pela vegetação.

A variação espacial pode ser observada na Figura 3, ficando comprovada a maior taxa de biomassa e de umidade no mês de janeiro, reflexo da alta precipitação no município, enquanto o inverso ocorre à medida que a frequência de chuvas diminui. A diminuição da precipitação no período de agosto é evidenciada na Figura 3, com base na alteração espacial da refletância espectral da vegetação, no infravermelho próximo, para o NDVI e da redução da refletância do infravermelho médio, para o baixo teor de umidade vegetal.

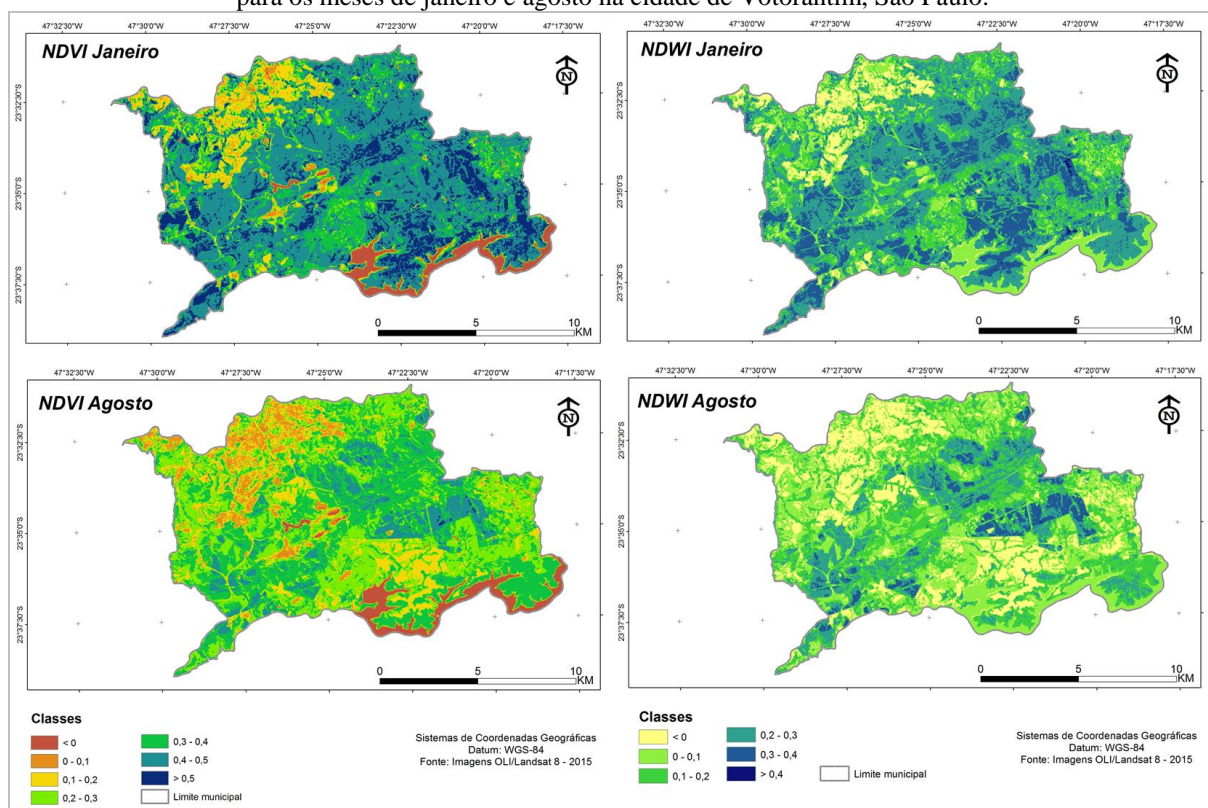
Os valores de NDVI apresentaram um aumento acentuado, quando comparado com o período mais seco, confirmando que a cobertura vegetal apresenta entre janeiro e agosto uma constância na produção de biomassa. As áreas que se mantêm constantes neste período, e com valores acima de 0,5, são aquelas que apresentam melhor estado de densidade, vigor e



conservação. Para Johansen & Tommervik (2014) como o espectro é único para a vegetação, se a reflectância do infravermelho próximo for muito maior do que a reflectância do vermelho, pode-se considerar que há uma quantidade considerável de vegetação existente, corroborando com os achados deste estudo, na medida em que maiores taxas de biomassa foram verificadas em janeiro o inverso em agosto.

Para o NDWI, a queda em áreas com umidade na vegetação, também foi observada no período com consequente aumento dos intervalos <0 a $0,2$, caracterizando-se pelas áreas edificadas do município e do reservatório de Itupararanga, que ao apresentarem ausência de vegetação e consequentemente de umidade vegetal, mantiveram-se em seus intervalos e agregaram as áreas que obtiveram baixa presença de umidade com a ausência de chuvas.

Figura 3 - Índice de vegetação por diferença normalizada (esquerda) e índice de água por diferença normalizada para os meses de janeiro e agosto na cidade de Votorantim, São Paulo.

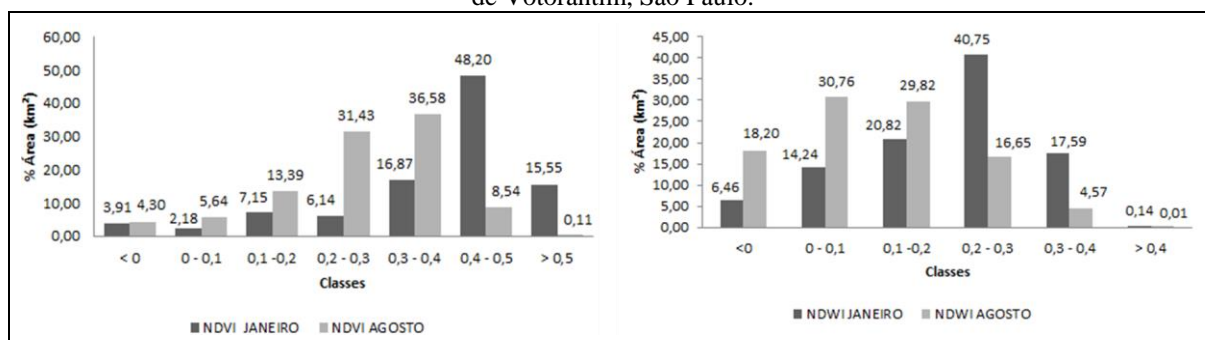


A Figura 4 apresenta a variação das áreas entre janeiro e agosto e demonstra que, apenas 0,11% do município, mantém valores iguais ou acima de 0,5 para NDVI, indicando que áreas muito pequenas apresentam uma constância de vegetação densa e com alto teor de umidade e confirma o padrão de sazonalidade e a baixa taxa de área de vegetação conservada no município. Esses achados corroboram com a afirmação de Dagbegnon et al. (2015) quando enfatizam que o vigor da vegetação encontra-se intimamente atrelado a disponibilidade hídrica, sendo este, um fator determinante para a qualidade da cobertura vegetal.

Observou-se também que as classes que caracterizam a presença de agricultura, silvicultura ou vegetação menos adensada, crescem no período mais seco e confirmam as afirmações anteriores ao caracterizar o município com alta produção agrícola, de silvicultura e degradação de áreas naturais. Para Costa et al. (2014) essa característica pode ser reflexo também da influência do sub-bosque, uma vez que, estes estratos respondem à primeira chuva, antes de uma expressão do dossel vegetativo e, portanto, apresentam valores altos de NDVI, mas que não se mantém em baixas precipitações.



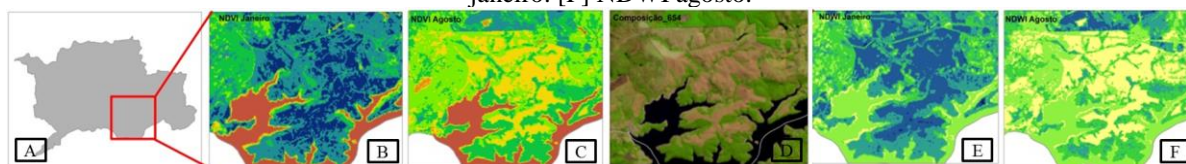
Figura 4 – Quantitativo de áreas de cada intervalo dos índices NDVI (esquerda) e NDWI (direita) para a cidade de Votorantim, São Paulo.



Com a constância no NDVI nos intervalos entre < 0, 0 – 0,1 e 0,1 – 0,2, confirma-se que o índice é eficiente na investigação de padrões vegetais, na medida em que as alterações nas características espectrais de áreas não vegetadas não são alteradas, como observado em janeiro e agosto na Figura 3. A comprovação destes fatores pode ser observada ao sul com a presença do reservatório de Ituparanga.

Uma área a sudeste do município, ilustrada na Figura 5, chama a atenção por apresentar uma acentuada redução nos valores de NDVI e NDWI no período analisado, induzindo a uma análise pormenorizada deste caso. Podemos perceber que os valores de NDVI decrescem de maior que 0,5 para o intervalo de 0,1 a 0,2 (Figura 5 [A-B]) e os valores de NDWI decresceram de valores acima de 0,4 para valores menores que zero (Figura 5[D-E]). Ao avaliar a composição 543 (RGB) da imagem Landsat 8 de agosto de 2015 (Figura 5[D]), pode-se afirmar que a causa dessa redução nos índices se justificam pela retirada da vegetação, por se constituir em área de silvicultura.

Figura 5 – [A] Votorantim, SP. [B] NDVI janeiro. [C] NDVI agosto. [D] Composição 5(R)4(G)3(B). [E] NDWI janeiro. [F] NDWI agosto.



4. Considerações finais

Houve uma forte relação entre os índices NDVI e NDWI e confirmaram a influência da variação sazonal das precipitações na redução dos teores de umidade e vigor da vegetação para o mês de agosto, em função da queda na média de total de chuva. Os resultados revelaram que a área do município é caracterizada por uma alta taxa de urbanização, silvicultura e rede hidrográfica, sendo a silvicultura responsável pelas maiores áreas dos intervalos de NDVI e NDWI.

Essas observações sugerem que o município de Votorantim encontra-se fortemente influenciado pelas áreas de produção de silvicultura e, em períodos de extração, a taxa de vegetação pode cair drasticamente, aumentando o comprometimento da qualidade ambiental municipal, já que, as áreas de vegetação natural aparentam não apresentar níveis altos e sabe-se da relação direta entre vegetação e conservação hídrica, especialmente no estado de São Paulo que têm apresentado grandes problemas hídricos nos últimos tempos.

As tecnologias de sensoriamento remoto são instrumentos extremamente eficazes na análise ambiental, especialmente no comportamento espectral da vegetação. A gratuidade de



imagens do sensor Oli/Landsat 8 contribuem substancialmente nos estudos ambientais, produzindo resultados que auxiliam a gestão e o planejamento do uso do solo e da cobertura vegetal.

Referências

AHAMED, T. TIAN, L.; ZHANG, Y.; TING, K. C. “*A review of remote sensing methods for biomass feedstock production*”. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2455–2469, 2011.

ABREU, K. M. P; COUTINHO, L. M. “*Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação com ênfase em índice de vegetação e métricas da paisagem*”. **Vértices**, v. 16, n. 1, 2014, pg. 173-198.

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

COSTA, T. C. C.; VIANA, J. H. M. ; RIBEIRO, J. L. “*Semideciduous Seasonal Forest Production of Leaves and Deciduousness in Function of the Water Balance, LAI, and NDVI*”. **International Journal of Ecology**, v. 15, pg. 1-15, 2014.

DAGBEGNON, C.; DJEBOUA, S.; SINGHA, V. P.; “*Retrieving vegetation growth patterns from soil moisture, precipitation and temperature using maximum Entropy C*”. **Ecological Modelling**, v. 309–310, pg. 10–21, 2015.

DELBART, N.; TOAN, T. L.; KERGOATS, L.; FEDOTAVA, V. “*Remote sensing of spring phenology in boreal regions: a free of snow effect method using NOAA-AVHRR and SPOT-VGT data (1982–2004)*”. **Remote Sensing of Environment**, v. 101, pg. 52-62, 2006.

ECONOMIC AND SOCIAL RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS 10.3**. 2014.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades: Votorantim**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=355700>>. Acesso em 20 nov. 2015.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

JOHANSEN, B.; TOMMERVIK, H. “*The relationship between phytomass, NDVI and vegetation communities on Svalbard*”. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 27, 2014, pg. 20–30.

MEI, A.; MANZO, C.; FONTINOVO, G.; BASSANI, C. et al. “*Assessment of land cover changes in Lampedusa Island (Italy) using Landsat TM and OLI data*”. **Journal of African Earth Sciences**, v. 30, pg. 1-10, 2015.



MYNENI, R. B.; HALL, F. G.; SELLERS, P. J.; MARSHAK, A. L. “*The meaning of spectral vegetation indices*”. **IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing**, v. 33, pg. 481 – 486, 1995.

PONZONI, F. P.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Oficina de Textos, 2007. 135 p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: FRADEN, S. C.; MARCANTI, E. P.; BECKER, M. A. **Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium**. Washington: NASA, 1973. 309-317 p.

SLAYBACK, D. A.; PINZON, J. E.; LOS, S. O.; TUCKER, C. J. “*Northern hemisphere photo-synthetic trends 1982–99*”. **Global Change Biology**, v. 9, n. 1, pg. 1–15, 2003.

VOTORANTIM. **Prefeitura Municipal de Votorantim**. Disponível em: <<http://www2.votorantim.sp.gov.br>>. Acesso em 20 nov. 2015.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C.; BRANDÃO, F. J.; TEIXEIRA, D. D. “*Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo*”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, pg. 608–614, 2013.