

ANÁLISE MULTI-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL DO ESTADO DE SÃO PAULO UTILIZANDO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Vanessa Canavesi¹, Ana Paula Martins do Amaral Cunha², Rita Márcia da Silva Pinto Vieira², Regina Célia dos Santos Alvalá¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro de Ciências do Sistema Terrestre

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

RESUMO: O rápido crescimento do setor agrícola no Estado de São Paulo causa impactos negativos sobre a cobertura vegetal natural, os quais podem ser diagnosticados por meio de metodologias com caráter espaço-temporal. A dinâmica da vegetação natural ou antropizada é uma variável importante em esquemas de transferência solo-vegetação-atmosfera destinados ao estudo de sensibilidade climática às alterações de cobertura vegetal. Informações provenientes de sensores remotos, tais como índices de vegetação, viabilizam estudos de grande escala espacial e temporal e, por meio de técnicas de processamento de imagens, é possível identificar de maneira mais realista como alguns parâmetros biofísicos da vegetação variam sazonalmente. Assim sendo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a variabilidade sazonal da vegetação utilizando o Índice de Vegetação NDVI gerado a partir de dados de reflectância (250 m) do sensor MODIS, no período de um ano, para três tipos de cobertura predominantes no Estado de São Paulo: pastagem, agricultura e, em particular, cana-de-açúcar. Para a identificação destas classes de cobertura foi gerado um mapa de uso do solo baseado em imagens do sensor TM, com 30 m de resolução espacial e, posteriormente, foi feita uma classificação digital. Foram geradas médias mensais de NDVI para cada uso do solo, o que permitiu caracterizar o comportamento fenológico de cada tipo de cobertura. Essas informações servirão de subsídios para estudos de modelagem da interação biosfera-atmosfera para a região do Estado de São Paulo como, por exemplo, para a análise dos impactos climáticos da expansão agrícola no referido Estado.

ABSTRACT: MULTI-TEMPORAL PLANT COVERAGE ANALYSIS OF THE STATE OF SÃO PAULO USING VEGETATION INDEX

The growth of the agricultural sector in the State of São Paulo has caused negative impact on the natural plant cover, which can be diagnosed through methodologies temporal-space focus. The dynamics of natural vegetation or antropic is an important variable in soil-plant-atmosphere transference schemes intended climate sensitivity study to plant coverage changes. Information from remote sensors, such as vegetation indices, large-scale studies feasible spatial and temporal, and through image processing techniques, you can identify more realistic as some vegetation biophysics parameters vary seasonally. Accordingly, the goal of this work was to assess seasonal variability of vegetation using the NDVI vegetation index generated from reflectance database (250 m) of the MODIS sensor during the period one year for three types of coverage predominant in the State of São Paulo: grassland, agriculture and, in particular, sugar cane. For the identification of these classes of coverage a soil use map based on TM sensor images with 30 m spatial resolution through digital classification was generated. Monthly averages of NDVI for each soil use are generated, which allowed characterize phenologic behavior of each type of coverage. This information will serve as subsidies for modeling studies of the biosphere-atmosphere interaction for the region of São Paulo State, for example, to the analysis of the climatic impacts of agricultural expansion in the State of São Paulo.

Palavras-Chave: mudanças climáticas, expansão agrícola, fenologia, climatic changes, agriculture expansion, phenology.

1. INTRODUÇÃO

A fenologia das plantas pode ser um indicativo das mudanças que ocorrem na natureza frente à variação anual dos elementos climáticos, como a temperatura e a precipitação. As mudanças climáticas podem causar alterações nas fases de desenvolvimento das plantas afetando a produtividade, a competição entre espécies e as interações com organismos heterotróficos. Esses impactos podem ter conseqüências na produção de alimentos, extração de substâncias químicas entre outros, com efeitos significativos nos valores de produtos agrícolas e florestais. O estudo da fenologia é importante no zoneamento agrícola, na interação da vegetação com o clima, no controle de pragas e doenças, e fornece uma melhor compreensão do balanço de carbono nos diferentes ecossistemas. O papel da fenologia das plantas como um fator de resposta às

alterações climáticas deve ser analisado, bem como é necessário quantificar os efeitos acima mencionados e associar as alterações da fenologia às alterações climáticas (Badeck et al., 2004).

Os estudos para investigar como os ecossistemas respondem ao acréscimo da temperatura vêm crescendo na comunidade científica (Walther et al., 2002). Os dados coletados em campo geralmente são difíceis de serem usados para inferir sobre grandes áreas, pois são coletados em locais de pequena extensão e sem repetibilidade. Assim sendo, os dados provenientes de sensores remotos passam a ter grande potencial de monitoramento da dinâmica da vegetação em escalas regional e global, devido à sua cobertura espacial e à repetibilidade temporal. Alguns trabalhos foram feitos utilizando diferentes metodologias para determinar o início e o final do ciclo fenológico em diferentes ambientes, sejam naturais ou agrícolas (Zang et al., 2003; Wang e Tenhunen, 2004).

Um dos produtos de sensoriamento remoto mais utilizado nos estudos fenológico é o índice de vegetação. De um modo geral, ele está relacionado com a quantidade e o vigor da vegetação. É a combinação das medidas de reflectância que ocorrem na região do infravermelho próximo (reflectância máxima da vegetação) com a região do vermelho no visível (máxima absorção da radiação pela clorofila). Os índices de vegetação foram desenvolvidos para fornecer uma estimativa do material fotossinteticamente ativo, o que é essencial para o entendimento do comportamento da vegetação tanto espacial quanto temporalmente (Ponzoni, 2001). O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) foi gerado por Rouse et al. (1973) e é muito utilizado principalmente no monitoramento da vegetação. A relação entre o NDVI e as variáveis climáticas tem sido explorada em alguns estudos (Yu et al., 2003; Pettorelli et al., 2005) e tem possibilitado analisar como a vegetação tem respondido às alterações de temperatura e precipitação.

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a variabilidade sazonal da vegetação utilizando o Índice de Vegetação NDVI gerado a partir de dados de reflectância (250 m) do sensor "*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*" (MODIS/TERRA), considerando o período de um ano, para três tipos de cobertura predominantes no Estado de São Paulo: pastagem, agricultura e, em particular, cana-de-açúcar.

2. METODOLOGIA

Para mapear o uso do solo no Estado de São Paulo foram utilizadas imagens do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5, referentes ao ano de 2005. As 19 imagens que cobrem todo o Estado foram inseridas em um banco de dados criado no aplicativo SPRING (Sistema de Processamento de Informações Geográficas) e foram georreferenciadas com base no mosaico GeoCover, o qual pode ser encontrado gratuitamente no site <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>. O mosaico é um produto ortorretificado de imagens TM GeoCover Landsat 5 em composição SWIR (Short-Wavelength Infrared) com a banda 2 no azul, banda 4 no verde e banda 7 (ou 5) no vermelho, com projeção Universal Transverse Mercator (UTM) / World Geodetic System 1984 (WGS84) e tamanho de pixel de 30 metros. A precisão posicional absoluta do Mosaico GeoCover Landsat apresenta erro quadrático médio de 50 metros (Crepani e Medeiros, 2005).

Foram inseridas no banco de dados as informações do Projeto Canasat, ano base de 2005. Esse projeto, por meio da interpretação de imagens de satélites CBERS e Landsat TM5, gera mapas temáticos com a distribuição espacial das áreas cultivada com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (Canasat, 2009). As informações do Canasat foram conferidas sobre as imagens de satélite para verificação de possíveis problemas relacionados ao deslocamento espacial dos polígonos identificados.

Para o mapeamento das áreas de vegetação natural foram utilizados os dados cedidos pela Fundação SOS Mata Atlântica e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, referentes ao Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica do ano de 2005. O Atlas é resultante da aplicação de várias técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e da interpretação de imagens de satélite com o objetivo de delimitar formações florestais e suas alterações (desflorestamentos) com até cinco hectares de dimensão (SOS Mata Atlântica, 2009).

A próxima etapa foi identificar as classes restantes, como agricultura, estradas, *Eucalyptus*, solo nu e pastagem. Estas classes foram mapeadas utilizando as imagens de satélite e um processo de classificação digital supervisionado e um posterior refinamento utilizando a edição gráfica. Dessa forma, foi gerado o mapa de uso e cobertura da terra para o Estado de São Paulo na projeção Policônica/Sad 69, resolução de 30 m e escala 1:250.000 com as seguintes classes: floresta, restinga, mangue, área urbana, estradas, solo nu, agricultura, *Eucalyptus* e cana de açúcar.

Para estudar a fenologia da vegetação no período de um ano foram utilizados dados do sensor MODIS, o qual pertence ao programa EOS e apresenta características apropriadas para diversos fins, como análises de

diferentes fenômenos terrestres, oceânicos e atmosféricos. O produto MOD09Q1 – reflectância de superfície possui sete bandas espectrais (648, 858, 470, 555, 1240, 1240, 1640 e 2130 nm) e fornece uma estimativa da reflectância da superfície para cada banda, excluindo-se as interferências do espalhamento e da absorção atmosférica. Apresenta uma resolução espacial de 250 m e é disponibilizado a cada 8 dias (USGS, 2009).

Para o cálculo do índice de vegetação NDVI foram utilizadas as bandas referente a região do vermelho (648 nm) e do infravermelho próximo (858 nm). Primeiramente foi feita uma composição de todas as imagens disponíveis para cada mês, resultando em uma única imagem mensal com a menor interferência de nuvens do mês. Esse procedimento foi feito para as duas bandas utilizadas para o cálculo do índice. Em seguida foi calculado o índice de vegetação para cada mês utilizando-se a Equação (Rouse et al., 1973):

$$NDVI = \frac{IVP - Verm}{IVP + Verm} \quad (1)$$

em que IVP é a banda do infravermelho próximo (858 nm) e Verm a banda do vermelho (648 nm).

Posteriormente foram criadas as máscaras para os seguintes alvos analisados no presente trabalho: pastagem, agricultura e cana-de-açúcar. Essas máscaras foram utilizadas com a finalidade de gerar uma média do NDVI para cada alvo e em cada mês. Os valores foram plotados em um gráfico, permitindo assim que a fenologia fosse analisada separadamente para cada alvo.

3. RESULTADOS

A Figura 1 apresenta o resultado do mapeamento dos diferentes usos da terra no Estado de São Paulo. Pode-se observar que a predominância na ocupação do solo é pela agricultura, seguida pela pastagem e pela cana-de-açúcar. A Tabela 1 apresenta a distribuição dessas coberturas em relação à área total do Estado.

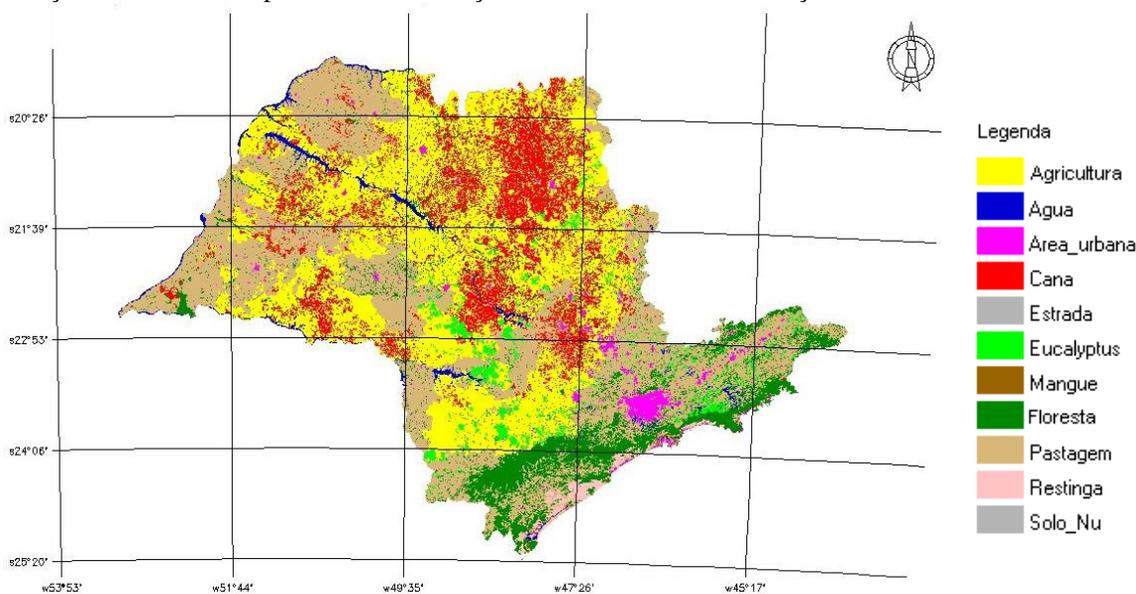


Figura 1 – Mapa do uso e cobertura do solo para o Estado de São Paulo

Uso do Solo	Área (ha)	%
Floresta	2.651.275,62	10,69
Restinga	207.358,92	0,84
Mangue	24.072,30	0,10
Área urbana	499.347,54	2,01
Água	425.010,51	1,71
Estradas	1.264,68	0,01
Solo_Nu	208,35	0,00
Agricultura	8.802.185,67	35,47
Eucalyptus	695.473,92	2,80
Cana	3.333.207,69	13,43
Pastagem	8.173.653,12	32,94

Tabela 1 – Área ocupada pelos diferentes usos no Estado de São Paulo.

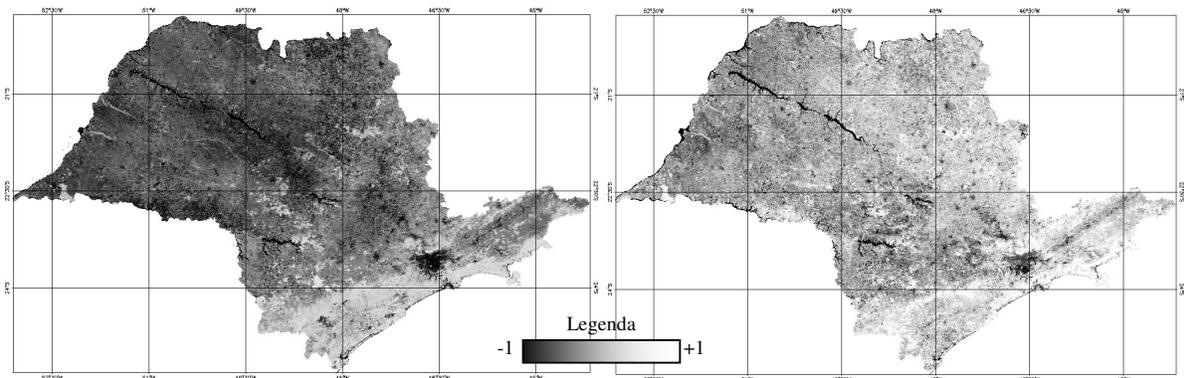


Figura 2 – Imagens NDVI para o Estado de São Paulo dos meses de setembro (esq.) e dezembro (dir.).

Na Figura 3 são apresentados os valores de NDVI para cada alvo avaliado: pastagem, cana-de-açúcar e agricultura. A colheita da cana em São Paulo ocorre predominantemente entre os meses de abril a novembro, enquanto que o plantio ocorre entre os meses de agosto a outubro para cana de ano e entre os meses de outubro a abril para cana de ano e meio (Rudorff et al., 2004). Essas informações coincidem com os valores obtidos de NDVI (Figura 3). Para o alvo pastagem, a biomassa verde também apresenta redução nos meses mais secos e o menor valor de NDVI foi alcançado em agosto, retomando o acréscimo no mês seguinte (setembro).

Para a agricultura, de um modo geral, ocorre um comportamento semelhante aos outros alvos, com decréscimo da biomassa a partir de julho e um aumento a partir de outubro. Segundo a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (2009) as três principais culturas em São Paulo, descartando-se a cana-de-açúcar, são a soja, o milho e a laranja. A época de plantio da soja é de outubro a janeiro, dependendo da região do Estado em que é plantada, e seu ciclo varia de 70 a 200 dias (Diehl e Junquetti, 2009) e, em algumas áreas onde ela é plantada, após a colheita é produzido o milho safrinha. Para a safra principal do milho também ocorre a semeadura no início do período chuvoso (Embrapa, 2009). Já a laranja, por se tratar de uma cultura perene e não caducifólia, mantém constante a quantidade de folhas verdes independente da sazonalidade climática, influenciando pouco a resposta do alvo agricultura. Vale salientar que estes três alvos, apesar do comportamento semelhante, apresentam valores diferentes de NDVI, os quais podem ser utilizados para diferenciar os três tipos de uso do solo.

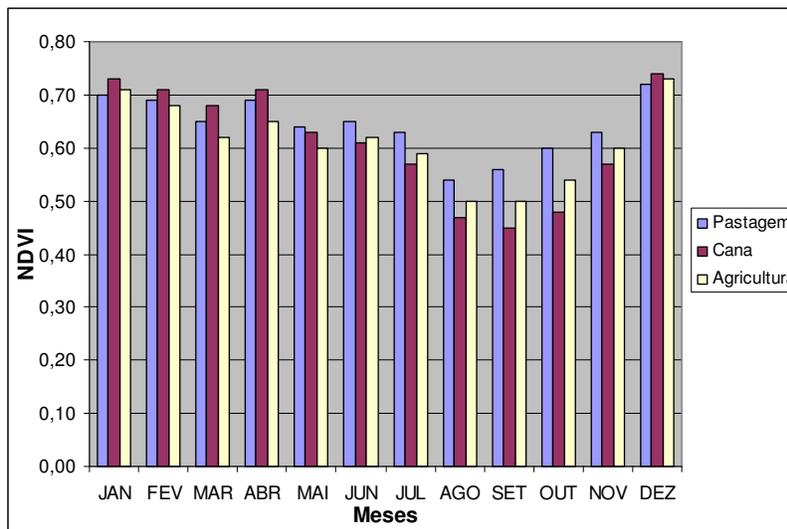


Figura 3 – Valores de NDVI mensais para os alvos analisados.

4. CONCLUSÕES

Os dados de reflectância de superfície do sensor MODIS, disponibilizados a cada 8 dias, possibilitaram a geração de uma imagem mensal com a menor interferência de nuvens, o que melhorou a qualidade das imagens NDVI calculadas para cada mês. Este índice se mostrou sensível às variações fenológicas dos alvos analisados (pastagem, agricultura e cana-de-açúcar).

Os menores valores ocorreram no mês de agosto para os alvos pastagem e agricultura e no mês de setembro para a cana-de-açúcar. Estes valores coincidem com o ciclo da cana-de-açúcar apontado por Rudorff et al. (2004) e com o declínio de biomassa decorrente da diminuição do conteúdo de água no solo para o Estado de São Paulo.

Estudos multi-temporais utilizando o NDVI possibilitam o acompanhamento do ciclo fenológico da vegetação, seja natural ou antropizada, permitindo assim identificar se as mudanças climáticas estão afetando o início e o fim do ciclo. Permite também acompanhar o acréscimo ou diminuição da biomassa verde entre os ciclos e relacionar os resultados com alterações da temperatura, precipitação e disponibilidade de CO₂ na atmosfera.

AGRADECIMENTOS: ao Marcos Adami pela disponibilização dos dados MODIS, visto a dificuldade de obter os dados junto a página oficial da USGS.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BADECK, F-W; BONDEAU, A.; BÖTTCHER, K.; DOKTOR, D.; LUCHT, W.; SCHABER, J.; SITCH, S. Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, 162, 295-309, 2004.

CANASAT. Mapeamento das áreas de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/mapdsr>. Acesso em: jun 09.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Imagens CBERS+Imagens SRTM+Mosaicos GeoCover Landsat em ambiente SPRING e TerraView: Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento gratuitos aplicados ao desenvolvimento sustentável. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Goiânia, 2005.

DIEHL, S.R.L.; JUNQUETTI, M.T.G. Soja. Disponível em: http://www.agrobyte.com.br/soja_n.htm. Acesso em: ago 09.

EMBRAPA – MILHO E SORGO. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/perguntas/clima2.html#>. Acesso em: ago 09.

PETTORELLI, N.; VIK, J.O.; MYSTERUD, A.; GAILLARD, J.; TUCKER, C.J.; STENSETH, N.C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*, 20, 9, 503-510, 2005.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. p. 157-199. In: P. R. Meneses; J. S. M. Netto. Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais. Brasília: Editora Universidade de Brasília/Embrapa Cerrados, 2001, 262p.

ROUSE, J.W., R.H. HAAS, J.A. SCHELL, DEERING, D.W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, 1973. NASA SP-351 I: 309-317.

RUDORFF, B.F.T.; BERKA, L.M.S.; MOREIRA, M.A.; DUARTE, V.; ROSA, V.G.C. Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do Estado de São Paulo por meio de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2004/2005. São José dos Campos: INPE, 2004. 54 p. (11421-RPQ/762).

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO, CATI/IEA, Projeto LUPA. Disponível em: http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa/estudos_lupa.php. Acesso em: mai 09.

SOS MATA ATLÂNTICA. Atlas da Mata Atlântica. Disponível em: <http://www.sosmatatlantica.org.br>. Acesso em: mai 09.

USGS -UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, Land Processes Distributed Active Archive Center. Disponível em: https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/modis_products_table/surface_reflectance/8_day_13_global_250m/v5/terra. Acesso em: ago 09.

WALTHER, G.R.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESANK, C.; BEEBEE, T.J.C.; FROMENTIN, J.; HOEGH-GULDBERG, O.; BAIRLEIN, F. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416, 389–395, 2002.

WANG, Q.; TENHUNEN, J.D. Vegetation mapping with Multitemporal NDVI in North Eastern China Transect (NECT). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6, 1, 17-31, 2004.

YU, F.; PRICE, K.P.; ELLIS, J.; SHI, P. Response of seasonal vegetation development to climatic variations in eastern central Asia. *Remote Sensing of Environment*, 87, 42–54, 2003.

ZHANG, X.; FRIEDL, M.A.; SCHAAF, C.B.; STRAHLER, A.H.; HODGES, J.C.F.; GAO, F.; REED, B.C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 84, 471-475, 2003.