

## Utilização do EVI (*Enhanced Vegetation Index*) para maior sensibilidade na detecção de mudanças temporais em fragmentos de floresta estacional semidecidual

Bruno Rodrigues Ginciene<sup>1</sup>  
Marisa Dantas Bitencourt<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Especialista em Análise e Educação Ambiental em Ciências da Terra  
brunoginciene@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade de São Paulo – USP  
Rua do Matão, trav. 14, 321 – Cid. Universitária – CEP 05508-900  
LEPaC – Laboratório de Ecologia da Paisagem e Conservação  
Depto Ecologia – Inst. Biociências, São Paulo – SP, Brasil  
tencourt@ib.usp.br

**Abstract.** Vegetation builds an important feature of environmental analysis due to its responses to environmental conditions. Remote sensing technology has been improved the access to this kind of information, especially through the development of vegetation indexes. The NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) is known as the most used vegetation index all over the world. Nevertheless, another index – the EVI (Enhanced Vegetation Index) has been showing significant improvements related to the analysis of environments composed by dense vegetation. This paper aimed to analyze the vegetation of the Atlantic Rain Forest patches at north of Paraná by using NDVI and EVI. The objective was to assess the performance of each vegetation index on the detection of changes occurred between 1995 and 2005. The comparative analysis was made by the PCA (Principal Component Analysis) and classes of vegetation changes were obtained through the classification of the second principal component. Results showed that EVI is more sensitive than NDVI on detecting changes in semi-deciduous forest once EVI's resulting image was able to express a larger range of variation. This result contributes to future researches since it provides a reference of the usage of the EVI as a more suitable index than NDVI to be used for the Atlantic semi-deciduous forest analysis.

**Palavras-chave:** remote sensing, vegetation changes, forest patches, Atlantic Rain Forest, sensoriamento remoto, mudanças na vegetação, fragmentos florestais, Floresta Atlântica.

### 1. Introdução

A vegetação exerce um papel determinante no funcionamento dos ecossistemas terrestres através de sua produtividade primária e da disponibilização de recursos e abrigo às espécies (Townsend *et al.*, 2010). Seu monitoramento constitui um aspecto-chave à compreensão de fenômenos biológicos e a tomadas de decisão.

Com o advento do sensoriamento remoto, o desenvolvimento de índices de vegetação possibilitou a inferência de parâmetros biofísicos referentes à vegetação, em extensas áreas da superfície da Terra, bem como de suas respostas frente à ação de fenômenos geofísicos e à influência antrópica.

Índices de vegetação são transformações matemáticas da refletância com o propósito de se explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do vermelho e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético (Wiegand *et al.*, 1991). Sua lógica reside no fato de que a energia refletida no vermelho e infravermelho próximo encontra-se relacionada à atividade fotossintética da vegetação e à sua estrutura (Ferreira *et al.*, 2008). Assim, estes índices encontram-se associados a parâmetros biofísicos da vegetação, como a biomassa e o índice de área foliar (Ponzoni & Shimabukuro, 2007).

Segundo Becerra (2005), o índice de vegetação mais comumente utilizado é o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (IVDN ou NDVI), que resulta da resposta espectral da vegetação nas faixas do vermelho e do infravermelho próximo (Equação 1):

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red}) \quad (1)$$

Na equação,  $\rho_{nir}$  = valores de reflectância para o infravermelho próximo e  $\rho_{red}$  = valores de reflectância para o vermelho. Desenvolvido por Rouse *et al.* (1973), o NDVI apresenta o resultado normalizado para a razão no intervalo de -1 a +1. Para alvos terrestres os valores menores e iguais a zero referem-se a pixels não vegetados e os valores próximos de 0.8 referem-se à vegetação mais densa. Embora extremamente útil na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação, o NDVI apresenta problemas de saturação em áreas densamente vegetadas (Ferreira *et al.*, 2008).

Frente a esta limitação, autores têm proposto a utilização do EVI (*Enhanced Vegetation Index*) como alternativa. Desenvolvido por Huete *et al.* (1997), o EVI nada mais é do que uma variação do NDVI, aprimorada quanto a correções de influências atmosféricas e do solo (Equação 2):

$$EVI = G(\rho_{nir} - \rho_{red}) / (L + \rho_{nir} + C_1\rho_{red} - C_2\rho_{blue}) \quad (2)$$

Na equação,  $\rho_{nir}$  = valores de reflectância para o infravermelho próximo,  $\rho_{red}$  = valores de reflectância para o vermelho,  $\rho_{blue}$  = valores de reflectância para o azul e os valores para as constantes  $G = 2.5$ ,  $L = 1$ ,  $C_1 = 6$  e  $C_2 = 7.5$  foram obtidos empiricamente (Huete *et al.*, 1997). Entretanto, a introdução do espectro do azul à equação original, somada as constantes desenvolvidas, tornou o índice sensível à discriminação de variações estruturais na vegetação de áreas densamente vegetadas (Huete *et al.*, 1999; Huete *et al.*, 2002).

Apesar de o EVI ter sido proposto como um produto do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), de 250 m de resolução espacial, seu desenvolvimento foi inteiramente baseado em imagens Landsat TM 4 e 5 degradadas, gerando imagens “MODIS-Simuladas” (Huete *et al.*, 1997; Justice *et al.*, 1998). Por esse motivo, o EVI também tem sido processado com sucesso a partir de imagens do sensor TM proveniente dos satélites Landsat (Wittenberg *et al.*, 2007; Zhao *et al.*, 2007; Cabacinha & Castro, 2009).

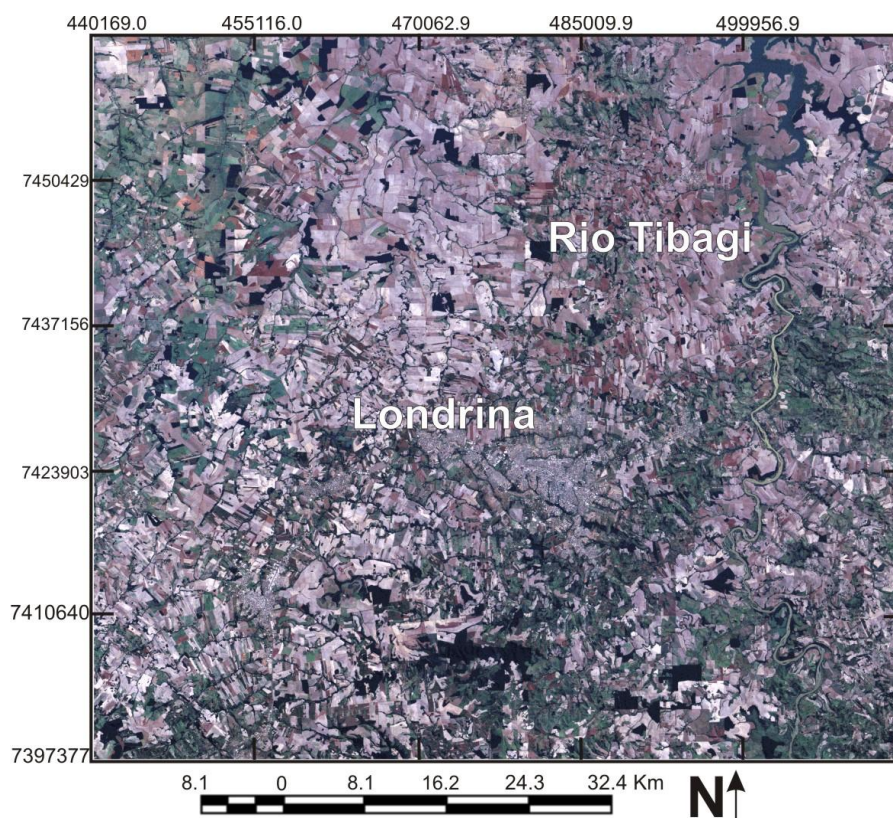
O presente trabalho visa analisar a cobertura vegetal de fragmentos de floresta estacional semidecidual próximos ao município de Londrina, Paraná. Esta região é composta por fragmentos florestais com cerca de sessenta anos de idade, resultantes da intensa exploração do solo para o desenvolvimento da produção agrícola. Com o declínio da atividade cafeeira na década de setenta o processo de fragmentação atenuou-se e os remanescentes florestais permaneceram sob a ação de forças, como o efeito de borda e a influência antrópica da matriz (Rodrigues, 1998).

A partir da premissa de que o EVI apresenta maior sensibilidade em ambientes com vegetação densa, este trabalho objetiva-se a análise do desempenho do EVI em relação ao NDVI em uma análise temporal, para a detecção de variações ocorridas entre o período de 1995 e 2005, na cobertura vegetal dos fragmentos de floresta estacional semidecidual.

## 2. Metodologia de Trabalho

Para a realização deste trabalho foram utilizadas imagens referentes a uma paisagem no norte do Paraná, próximo ao município de Londrina (Figura 1). As imagens são provenientes do sensor TM a bordo do satélite Landsat 5, cujas datas de aquisição são 30/04/1995 e

09/04/2005, órbita/ponto 222/76. A opção por imagens do mês de Abril justifica-se pela tentativa de uniformidade de condições ambientais na data de aquisição das imagens, possibilitando a análise temporal, e pelo fato de que o mês de Abril pertence ao período entre safras na região, facilitando a distinção das áreas florestadas das demais áreas de culturas anuais.



**Figura 1.** Recorte ilustrado a localização da região de análise.

As imagens foram georeferenciadas no programa SPRING 5.1.4 com base em um arquivo *Geocover* e pré-processadas no programa IDRISI Andes por meio das correções radiométrica e de ângulo de elevação, realizados com a transformação do número digital em radiância e reflectância.

O processamento das imagens teve início com a seleção de dezoito fragmentos florestais de tamanhos variados (de 1,16 ha a 390,06 ha) a serem analisados. Uma vez selecionados, os fragmentos florestais foram caracterizados quanto a sua cobertura vegetal por meio da utilização dos índices NDVI e EVI. Após a caracterização, as imagens-índices de vegetação foram submetidas à Análise de Componentes Principais (ACP) para a obtenção da segunda componente principal (2ª CP), referente à variação de atributos existente entre as imagens iniciais. Assim, a 2ª CP representa a análise temporal, indicando se os valores de NDVI e EVI aumentaram, diminuíram ou permaneceram os mesmos, para um mesmo ponto em comum entre as imagens (Maldonado, 1999; Tottrup & Rasmussen, 2004; Lasaponara, 2006; Vila & Barbosa, 2010).

A partir de então, as imagens da 2ª CP (para o NDVI e para o EVI) puderam ser fatiadas e classificadas. Eastman & Fulk (1993), Geoffrey (1997) e Maldonado (1999), propuseram um critério de classificação baseado no fatiamento do histograma da 2ª CP em intervalos de um e dois desvios padrão ( $1\sigma$  e  $2\sigma$ ) acima da média ( $\chi$ ) e um e dois desvios padrão ( $-1\sigma$  e  $-2\sigma$ ) abaixo da média. Estes limiares estariam associados a dois graus de mudança, um de maior

magnitude (2 desvios padrão) e outro de menor magnitude (1 desvio padrão). Dessa maneira, o histograma e a imagem da 2ª CP são divididos e classificados em cinco classes (Tabela 1).

**Tabela 1.** Intervalos utilizados para o fatiamento da 2ª CP e suas respectivas classes. Na tabela  $\chi$  = média e  $\sigma$  = desvio-padrão, obtidos no histograma.

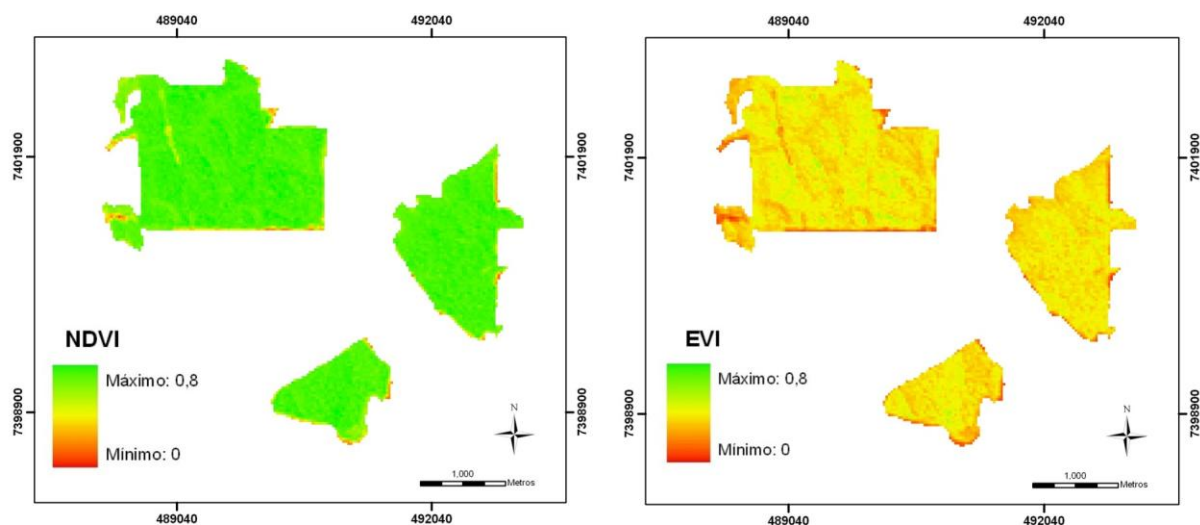
Posição do Fatiamento	Nome da Classe	Cor na Imagem
$< \chi - 2\sigma$	Diminuição 2 de Valores	Red
$\chi - 2\sigma$ e $\chi - 1\sigma$	Diminuição 1 de Valores	Yellow
$\chi - 1\sigma$ e $\chi + 1\sigma$	Não Mudança	Grey
$\chi + 1\sigma$ e $\chi + 2\sigma$	Aumento 1 de Valores	Light Green
$> \chi + 2\sigma$	Aumento 2 de Valores	Dark Green

O intervalo compreendido entre o primeiro limiar ( $\chi - 1\sigma$  e  $\chi + 1\sigma$ ), por estar dentro do desvio padrão, foi classificado como “não mudança”. Os intervalos compreendidos entre o primeiro e segundo limiar ( $\chi - 2\sigma$  e  $\chi - 1\sigma$ ) e ( $\chi + 1\sigma$  e  $\chi + 2\sigma$ ) foram classificados como “Diminuição 1 de Valores” e “Aumento 1 de Valores”, respectivamente. Já os intervalos compreendidos a partir do segundo limiar ( $< \chi - 2\sigma$  e  $> \chi + 2\sigma$ ) foram classificados como “Diminuição 2 de Valores” e “Aumento 2 de Valores”, respectivamente.

Uma vez classificados e espacializados, os fragmentos florestais puderam ser analisados quanto a sua vegetação. Os dados obtidos com a ACP provenientes do NDVI e do EVI foram então comparados para verificação da sensibilidade destes índices na detecção de mudanças na vegetação na análise temporal.

### 3. Resultados e Discussão

Logo após a caracterização da cobertura vegetal dos fragmentos florestais foi possível observar diferenças entre os produtos-índices de vegetação (Figura 2). Visualizando o resultado normalizado de ambas as imagens com o mesmo *pallet* de cores pode-se perceber que o EVI caracteriza a vegetação com valores inferiores ao NDVI, evitando sua saturação nas áreas de vegetação mais densa.



**Figura 2.** Comparação entre os produtos-índices de vegetação visualizados com o mesmo *pallet* de cores referente ao mesmo intervalo da diferença normalizada.

Os resultados obtidos com ACP puderam elucidar quanto à sensibilidade de ambos os índices para a detecção de mudanças na vegetação ao longo do tempo. Em relação ao NDVI, o fatiamento da 2ª CP indica que as variações encontradas para os seus valores não são significativas, uma vez que se encontram dentro de seu desvio-padrão (Figura 3). Variações significativas (maiores que o desvio-padrão) de valores NDVI são visualizadas apenas na porção marginal dos fragmentos florestais. Entretanto, mesmo com um erro de 0.27 pixels indicado pelo SPRING 5.1.4 para o georeferenciamento, não é possível assegurar se esta variação na porção marginal representa de fato um dado biológico ou apenas uma diferença no posicionamento das imagens com datas diferentes. Sendo assim, este resultado sugere que, de acordo com o NDVI, não ocorreram mudanças significativas na cobertura vegetal dos fragmentos florestais no período de dez anos analisado entre 1995 e 2005.

Já em relação ao EVI, o fatiamento da 2ª CP indica a ocorrência de variações significativas, maiores que o desvio-padrão (Figura 4). Com o auxílio da tabela 2 pode-se observar a ocorrência de uma variação de 5 % nos hectares de vegetação classificados como “Não Mudança”, na análise temporal realizada com o NDVI, para a classe “Aumento 1”, segundo a análise temporal realizada com o EVI. Este resultado sugere que o EVI apresenta maior sensibilidade que o NDVI não só para a caracterização da vegetação mais densa como também para a detecção de mudanças ocorridas na mesma, ao longo do tempo.

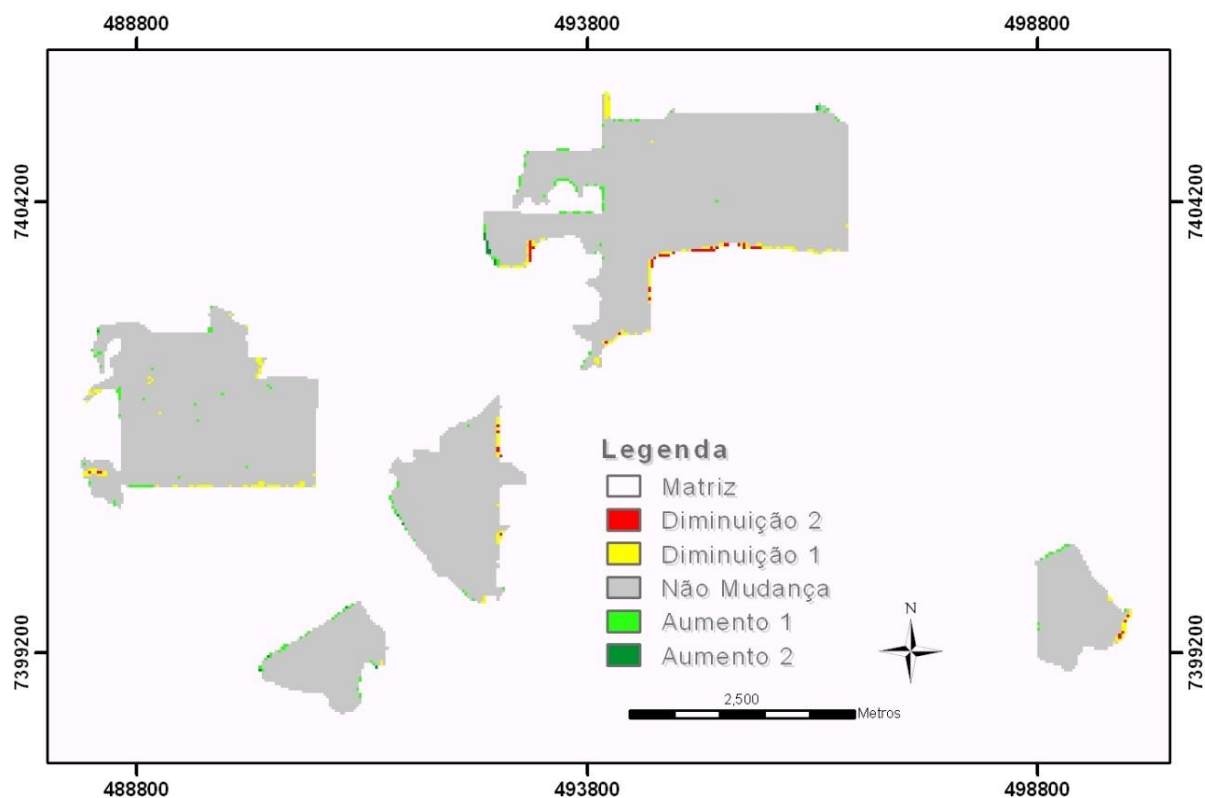
Huete *et al.* (1999) e Huete *et al.* (2002) explicam que esta diferença provém do fato de que o espectro referente ao vermelho exerce maior influência sobre a equação do NDVI, tornando-o mais sensível a variação na quantidade de biomassa fotossinteticamente ativa, enquanto que o infravermelho próximo exerce um peso maior sobre a equação do EVI, tornando-o mais sensível a variações na estrutura do dossel, incluindo índice de área foliar, tipo de dossel, fisionomia da planta, forma das folhas e a arquitetura do dossel.

Dessa maneira, em áreas com florestas densas e contínuas, onde não há grandes variações na quantidade de biomassa fotossinteticamente ativa, encontra-se pouca variação nas reflectâncias do espectro do vermelho, resultando na menor sensibilidade apresentada pelo NDVI a estas áreas. Em compensação, as amplas variações encontradas para o infravermelho próximo explicam a maior sensibilidade obtida com o EVI, resultante da estratificação e demais características da arquitetura do dossel como um todo (Huete *et al.*, 1997; Huete *et al.*, 2002).

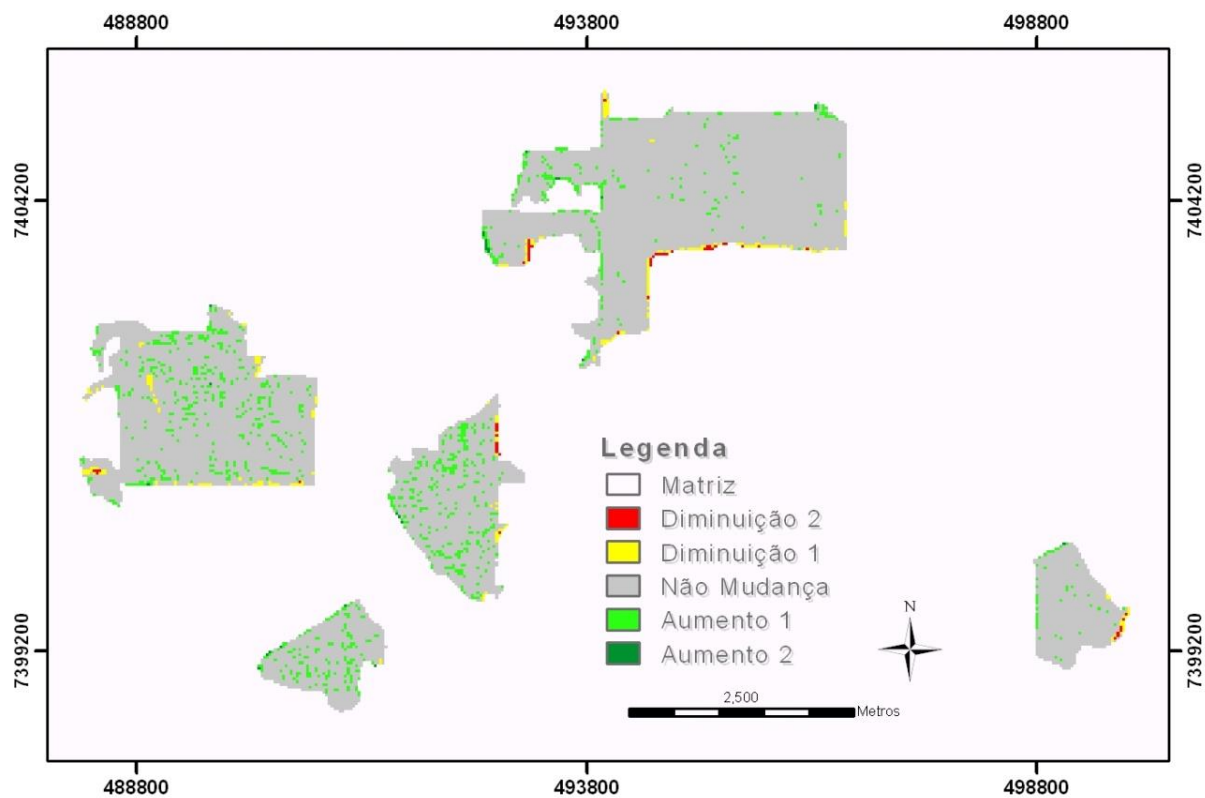
Huete *et al.* (1999) e Huete *et al.* (2002) explicam que esta diferença provém do fato de que o espectro referente ao vermelho exerce maior influência sobre a equação do NDVI, tornando-o mais sensível a variação na quantidade de biomassa fotossinteticamente ativa, enquanto que o infravermelho próximo exerce um peso maior sobre a equação do EVI, tornando-o mais sensível a variações na estrutura do dossel, incluindo índice de área foliar, tipo de dossel, fisionomia da planta, forma das folhas e a arquitetura do dossel.

Dessa maneira, em áreas com florestas densas e contínuas, onde não há grandes variações na quantidade de biomassa fotossinteticamente ativa, encontra-se pouca variação nas reflectâncias do espectro do vermelho, resultando na menor sensibilidade apresentada pelo NDVI a estas áreas. Em compensação, as amplas variações encontradas para o infravermelho próximo explicam a maior sensibilidade obtida com o EVI, resultante da estratificação e demais características da arquitetura do dossel como um todo (Huete *et al.*, 1997; Huete *et al.*, 2002).

Outro ponto importante refere-se à incorporação da faixa espectral do azul à equação do EVI. Inicialmente, conforme proposto por Kaufman & Tanré (1992), o azul foi incorporado ao índice de vegetação com a finalidade de atenuar interferências atmosféricas. Segundo o autor, a diferença entre a radiância do comprimento de onda do azul e do vermelho seria utilizada para correção do espalhamento atmosférico e a absorção de ozônio.



**Figura 3.** Classificação da 2ª CP, proveniente da análise com o NDVI, contendo as classes de mudança na vegetação baseadas nos intervalos de desvio padrão.



**Figura 4.** Classificação da 2ª CP, proveniente da análise com o EVI, contendo as classes de mudança na vegetação baseadas nos intervalos de desvio padrão.

**Tabela 1.** Proporção da vegetação pertencente a cada classe de mudança segundo os índices de vegetação.

Classe	NDVI		EVI	
	Hectares	%	Hectares	%
<b>Diminuição 2</b>	7,83	0,004	8,82	0,004
<b>Diminuição 1</b>	36,63	0,018	36,54	0,018
<b>Não Mudança</b>	<b>1.993,32</b>	<b>0,966</b>	<b>1.888,92</b>	<b>0,916</b>
<b>Aumento 1</b>	<b>22,5</b>	<b>0,011</b>	<b>125,01</b>	<b>0,061</b>
<b>Aumento 2</b>	2,43	0,001	3,42	0,002
<b>Total</b>	<b>2.062,71</b>	<b>1</b>	<b>2.062,71</b>	<b>1</b>

Entretanto, o azul corresponde também à faixa do espectro utilizada para fotossíntese pela plantas que ocupam o sub-bosque. Segundo Crawley (1986), apesar do comprimento de onda referente ao vermelho ser mais fotossinteticamente ativo, sua porção na radiação incidente é utilizada pelas plantas do dossel. Na ausência de luz direta, as plantas pertencentes aos estratos inferiores passam a ter disponível uma maior proporção de comprimentos de onda referentes ao azul para realizar a fotossíntese. Isto sugere que o EVI responda a variações ocorridas na vegetação do sub-bosque. Assim, esta sensibilidade pode estar relacionada a diferenças na estrutura da vegetação em questão ou mesmo à presença de clareiras naturais no interior dos fragmentos. Porém, para a confirmação desta relação são necessários levantamentos futuros de campo.

Neste âmbito, dada a particularidade de cada índice à diferentes ambientes e à características específicas, passa a ser prudente então considerar a complementaridade entre eles. Em remanescentes de floresta estacional semidecidual, o EVI se mostrou mais sensível à detecção de mudanças na vegetação sugerindo que, neste tipo de ambiente, apresenta-se mais adequado.

#### 4. Conclusões

A partir da análise dos resultados obtidos, foi possível concluir que o EVI se mostrou mais sensível que o NDVI à detecção de mudanças na cobertura vegetal dos fragmentos florestais, no período analisado. Dada as propriedades do EVI em detectar variações estruturais da vegetação e as características da floresta estacional semidecidual em ser uma formação florestal densa, este índice apresenta-se mais sensível e adequado à detecção de mudanças ocorridas ao longo do tempo, neste tipo de ambiente.

Pelo fato dos fragmentos possuírem cerca de sessenta anos de idade e da fragmentação florestal ter sido atenuada a partir da década de setenta, sugere-se que as variações detectadas em sua cobertura vegetal sejam resultantes da ação antagonista entre a regeneração natural e a influência conjunta do efeito de borda somado à pressão antrópica da matriz.

#### Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Profa. Dra. Marisa Dantas Bitencourt pela oportunidade e por todos os conhecimentos adquiridos junto ao LEPaC - IB/USP. Agradeço também aos colegas Kitaro Suenaga, Jomar Magalhães e Luiz Mantelli por todo o apoio e companheirismo.

#### Referências Bibliográficas

Becerra, J. A. B., **Modelagem da influência antrópica dos fatores antrópicos nos remanescentes de cerrado no Estado de São Paulo.** 2005. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

Cabacinha, C. D.; Castro, S. S. Relationships between floristic diversity and vegetation indices, forest structure and landscape metrics of fragments in Brazilian Cerrado, **Forest Ecology and Management**, n.257, p.2157-2165, 2009.

Crawley, M.J. **Plant ecology**. Blackwell scientific publications, Oxford, 1986.

Ferreira, L. G.; Ferreira, N. C.; Ferreira, M.E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. **Acta Sci. Biol. Sci**, v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.

Justice, C. O. et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research. **IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING**, v.36, n.4, 1998.

Huete, A. R. et al. A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. **Remote Sens. Environ**, n.59, p.440-451, 1997.

Huete, A. R.; Justice, C.; Leeuwen, W. V. **MODIS vegetation index (MOD13) Algorithm theoretical basis Document Version 3**, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland 20771, USA, 1999, 122p.

Huete, A. R. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, n.83, p.195-213, 2002.

Kaufman, Y. J. & Tanré, D. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.30, n.2, 1992.

Lasaponara, R. On the use of principal component analysis (PCA) for evaluating interannual vegetation anomalies from SPOT/VEGETATION NDVI temporal series. **Ecological Modelling**, v.194, n.4, p.429-434, 2006.

Maldonado, F. D. **Análise por componentes principais (ACP) para caracterização da dinâmica de uso da terra em área do semi-árido brasileiro: Quixaba-PE**. 1999. 129f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.

Ponzoni, F. J.; Shimabukuro, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. Editora Parêntese, São José dos Campos, 2007, 135 p.

Rodrigues, E. **Edge effects on the regeneration of forest fragments in south Brazil**. 1998. 172f. Tese (Doctor of Philosophy in the subject of Biology) Harvard University Cambridge, Massachusetts, 1998.

Tottrup, C.; Rasmussen, M. S. Mapping long-term changes in savannah crop productivity in Senegal through trend analysis of time series of remote sensing data. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.103, n.3, p.545-560, 2004.

Townsend, C. R. *et al.* **Fundamentos em Ecologia**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010, 576p.

Victoria, D. C.; Oliveira, A. F.; Grego, C. R. Análise harmônica de séries temporais de imagens NDVI/MODIS para discriminação de coberturas vegetais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p.1589-1596.

Vila, J. P. S.; Barbosa, P. Post-fire vegetation regrowth detection in the Deiva Marina region (Liguria-Italy) using Landsat TM and ETM+ data. **Ecological Modelling**, v.221, n.1, p.75-84, 2010.

Wiegand, C. L.; Richardson, A. J.; Escobar, D. E. Vegetation indices in crops assessment. **Remote Sensing of Environment**, v.35, p.105-119, 1991.

Wittenberg, L. et al. Spatial and temporal patterns of vegetation recovery following sequences of forest fires in a Mediterranean landscape, Mt. Carmel Israel. **Catena**, v.71, p.76–83, 2007.

Zhao, D. et al. Canopy reflectance in cotton for growth assessment and lint yield prediction. **Europ. J. Agronomy**, v.26, p.335–344, 2007.