

DINÂMICA SAZONAL DA VEGETAÇÃO NA BACIA DO RIO ITAJAÍ, SC, POR MEIO DE IMAGENS MODIS TERRA

Alexander Christian Vibrans¹, Vanessa Fernanda Schramm² e Débora
Vanessa Lingner³

Resumo: Neste trabalho apresentam-se os reflexos de variações climáticas sobre a resposta espectral, em imagens de sensoriamento remoto, da vegetação natural e de áreas agrícolas na bacia hidrográfica do rio Itajaí em Santa Catarina. Foram utilizadas imagens quinzenais dos anos de 2005 e 2006 do sensor MODIS TERRA, produto MOD13, que contém o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Melhorado (EVI), com resolução espacial de 250m. Realizou-se a espacialização dos dados pluviométricos de 28 estações pluviométricas em células de 250m e da temperatura média mensal de quatro estações na área de estudo. Ao contrário do que ocorre em regiões de clima sazonal, não foi possível constatar relação entre variação sazonal da precipitação e valores de NDVI/EVI. Os índices mostraram variações sazonais (inverno/verão), embora em evidente independência do regime pluviométrico. Tampouco períodos de prolongada estiagem causaram alterações na resposta da vegetação que tenham mostrado reflexos nos valores dos índices de vegetação. Diante da ausência de correlação entre as variáveis estudadas, é possível que nem as variações da resposta da vegetação perenifólia da Floresta Ombrófila Densa, nem as das culturas agrícolas, sejam causadas pelo regime de chuva. Foi possível constatar correlação significativa entre os índices utilizados e a temperatura média mensal, tanto na vegetação natural como nas culturas agrícolas. Conclui-se que os índices analisados podem ser mais influenciados pela temperatura do que pela precipitação.

Palavras-chave: Índices de vegetação. Imagens MODIS TERRA. Estiagens. Sensoriamento remoto.

1 Introdução

Índices de vegetação derivados de imagens orbitais de alta frequência temporal são amplamente usados para observações em escala regional e de longo prazo de mudanças da cobertura florestal e do uso da terra e da dinâmica sazonal da vegetação, importantes para o entendimento de mudanças climáticas e alterações do regime hídrico de uma região. Numa bacia hidrográfica estas observações são necessárias para a modelagem hidrológica e a tomada de decisões acerca da gestão dos seus recursos.

O sensor norte-americano MODIS (*Moderate Resolution Image Spectroradiometer*), a bordo do satélite TERRA faz parte do programa EOS (*Earth Observing System*) da NASA e foi lançado em 2000. Trata-se de um sensor com 36 bandas (canais) espectrais cobrindo o espectro eletromagnético entre 0,4 μm e 15 μm , com 10 bandas na faixa do visível, 7

bandas na faixa do infravermelho próximo, 11 na faixa do infravermelho médio e 8 na faixa do infravermelho distante (JUSTICE et al. 2002). A sua resolução espacial é de 250 metros e a sua resolução temporal é de 8 e 16 dias, conforme a banda; este seu curto tempo de retorno e a sua distribuição gratuita pelo *Earth Observing System Data Gateway* da NASA facilitam seu uso para o estudo da dinâmica sazonal da vegetação terrestre através da elaboração de perfis espectrais e temporais da evolução fenológica de diversos tipos da vegetação natural (HUETE et al. 2002; MESQUITA et al. 2007) e de culturas agrícolas (LOHMANN; MARTINI; DEPPE, 2007). Além das bandas originais, a NASA disponibiliza para os usuários bandas sintéticas, contendo o NDVI e o EVI, no seu produto chamado MOD13Q1.

Os dados do sensor MODIS permitem a obtenção de imagens de índices de vegetação de alta resolução temporal (quinzenais) para a análise multitemporal de fenômenos terrestres. Índices de vegetação

¹ E-mail: acv@furb.br
FURB - Campus 2, Rua São Paulo, 3250, 89030-000 Blumenau-SC, Brasil.

² E-mail: vaschramm@hotmail.com

³ E-mail: deboravanessa.ef@gmail.com

são usados, em sensoriamento remoto, para indicar presença, quantidade de biomassa e estado fenológico da vegetação, uma vez que a produção primária de uma comunidade vegetal mostra estreita relação com a energia (irradiância solar) absorvida por ela (BARET; GUYOT, 1991; PONZONI, 2001); os índices trabalham com a reflectância dos alvos terrestres, isto é, com a relação entre energia refletida pelo alvo terrestre e a energia incidente, inferindo assim sobre a quantidade de energia absorvida pelo alvo.

Índices como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*) são usados para estimar a biomassa e para a observação do estado de desenvolvimento e das variações fenológicas da vegetação. O NDVI é definido como:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV} - \rho_V)}{(\rho_{IV} + \rho_V)} \quad (1)$$

sendo ρ_{IV} e ρ_V os valores da reflectância nas bandas do infravermelho próximo e vermelho do espectro eletromagnético, respectivamente.

O EVI (*Enhanced Vegetation Index*) foi desenvolvido para otimizar o registro do sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, reduzindo a saturação, além de corrigir influências atmosféricas e reduzir influências do fundo do dossel e do solo (JUSTICE et al., 1998). O EVI é calculado de acordo com a equação 2.

$$EVI = G \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + C_1 \rho_V - C_2 \rho_A + L} \quad (2)$$

sendo que ρ_V , ρ_{IVP} e ρ_A representam os valores de reflectância nas bandas do vermelho, infravermelho próximo e azul, respectivamente; L o fator de ajuste para o fundo do dossel, e C_1 e C_2 os coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera e G o fator de ganho (MIURA et al., 2001).

Tanto para a vegetação natural como para as culturas agrícolas os valores de NDVI e EVI sofrem variações sazonais. Estas etapas das alterações fenológicas podem ser identificadas como: 1) aumento da atividade fotossintética; 2) máximo vigor vegetativo; 3) início de estresse fisiológico; e 4) senescência foliar (PONZONI, 2001). Na época do máximo vigor vegetativo culmina a atividade fotossintética; o alto teor de clorofila nas folhas, nesta fase, absorve

grande parte da energia solar incidente na faixa da radiação visível e, por conseqüência, a reflectância captada pelo sensor remoto nesta faixa do espectro eletromagnético é baixa. Na faixa do infravermelho a folha saudável mostra, nesta fase, alta reflectância e pouca absorvância, devido à reflexão celular interna, ao arranjo dos espaços intercelulares e ao conteúdo de água nas folhas. Baixa reflectância na faixa do vermelho e alta na do infravermelho geram valores altos de NDVI. Senescência ou estresse hídrico levam a reflectância mais baixa na faixa do verde, aumento na do vermelho e baixa na do infravermelho: o NDVI apresenta valores mais baixos e as mudanças da vegetação podem ser observadas e documentadas remotamente (SILVEIRA et al., 2008).

Desde a publicação do trabalho de Tucker (1979) sobre o potencial do uso da combinação das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, inúmeros estudos têm usado índices de vegetação para quantificar, classificar e monitorar a cobertura vegetal e detectar as suas mudanças em todo o mundo. Entre outros aspectos, a dinâmica da resposta da vegetação à precipitação, aos padrões sazonais da vegetação e o monitoramento de estiagens por meio da observação da resposta da vegetação têm sido enfocados. Braga et al. (2003) examinaram o tempo de resposta da vegetação a eventos pluviométricos no nordeste brasileiro e detectaram, além de uma forte correlação entre NDVI e o regime de chuvas, uma defasagem temporal de um a dois meses da resposta da vegetação. Huete et al. (2005) usaram os dados do sensor MODIS para elaborar perfis temporais e espectrais (ao longo de um transecto este-oeste na Amazônia) da atividade fotossintética da vegetação tanto em pastagens como em florestas, usando o NDVI e o LSWI (*Land Surface Water Index*). Xiao et al. (2006) estudaram as variações fenológicas do dossel de florestas tropicais úmidas e a sua relação com a precipitação na bacia amazônica, usando índices de vegetação gerados pelo sensor MODIS. Silva Ribeiro e Centeno. (2007) enfocaram o monitoramento de estiagens durante os anos de 2005 e 2006 no Estado do Paraná, com ajuda do NDVI e EVI gerados pelo sensor MODIS. Entre os produtos gerados a partir dos dados do sensor MODIS, o EVI, por minimizar os efeitos atmosféricos, tem sido descrito em muitos estudos como mais sensível as

mudanças sazonais da vegetação do que o NDVI. Índices de vegetação também têm sido utilizados para a discriminação de classes de uso da terra e mapeamento de fisionomias da vegetação, tanto em florestas tropicais (NOVO et al., 2005) como em regiões com florestas sazonais, cerrado e caatinga (SILVEIRA et al., 2008).

O presente trabalho visa descrever a dinâmica sazonal da vegetação natural e de áreas agrícolas entre 2005 e 2006, na bacia do rio Itajaí, SC. Para avaliar o efeito das variações de precipitação e temperatura sobre a vegetação da bacia, dados de NDVI e EVI foram analisados frente aos dados climáticos. O aspecto da sazonalidade da cobertura florestal e do uso do solo da bacia foi integrado aos aspectos qualitativos (KLEIN, 1979/80; SEVEGNANI, 2002),

quantitativos em relação à extensão espacial e temporais/históricos (VIBRANS, 2003; REFOSCO, 2004) estudados na região.

2 Material e métodos

2.1 Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Itajaí, situada no leste do Estado de Santa Catarina, com área de 15.500 km², correspondendo a 16,15% do território catarinense (Figura 1). A bacia situa-se entre as coordenadas 26° 30' S e 28° 00' S e 48° 30' W e 50° 30' W. Abrange 47 municípios e possui aproximadamente um milhão de habitantes.

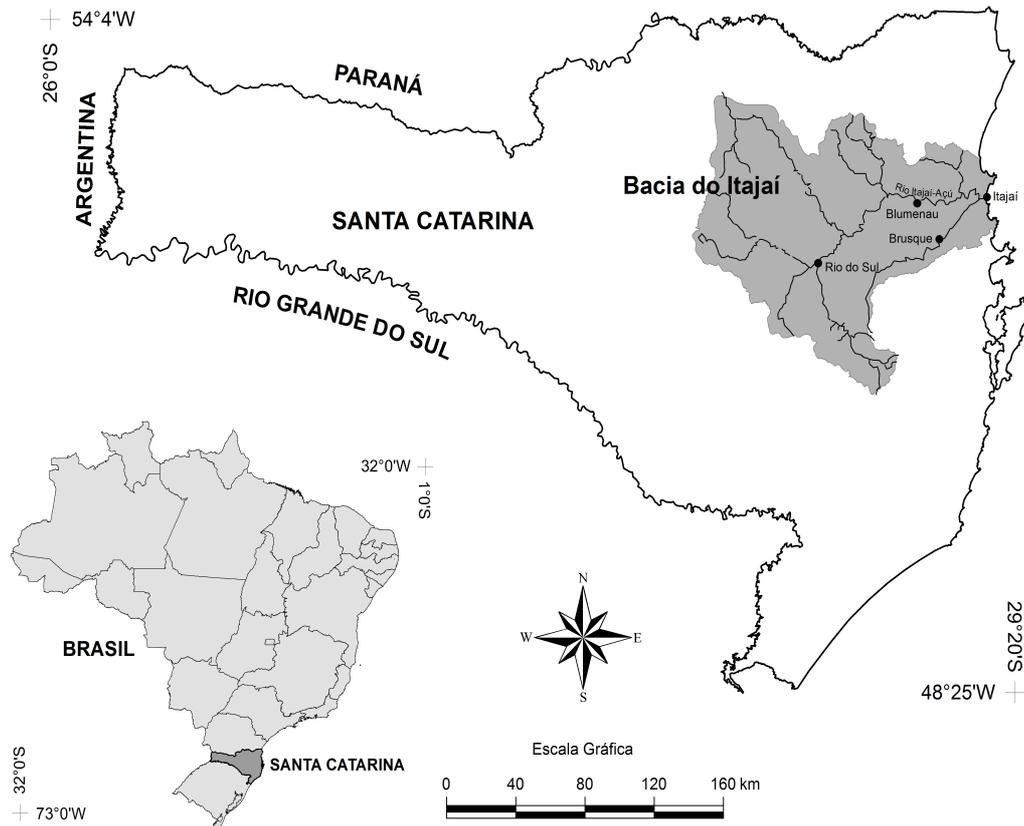


Figura 1 - Localização da área de estudo (Adaptado de COMITÊ DO ITAJAÍ, 2009)

A região apresenta clima do tipo Cfa (subtropical úmido de verão quente, sem estação seca), na classificação de Köppen. Em alguns municípios ocorrem áreas com até 800m de altitude, em situação de transição para o clima temperado úmido. A temperatura média anual varia entre 19 e 21°C, ocorrendo, em média, quatro geadas por ano, normalmente nos meses de junho e

julho. A precipitação anual varia de 1.600mm a 1.800mm; pelas médias da serie histórica a partir de 1940, não ocorre nenhum mês com déficit hídrico, mas as chuvas são mais intensas nos meses de verão. A Figura 2 mostra as médias mensais de temperatura e de precipitação para a estação 02649007 de Blumenau (ANA, 2007).

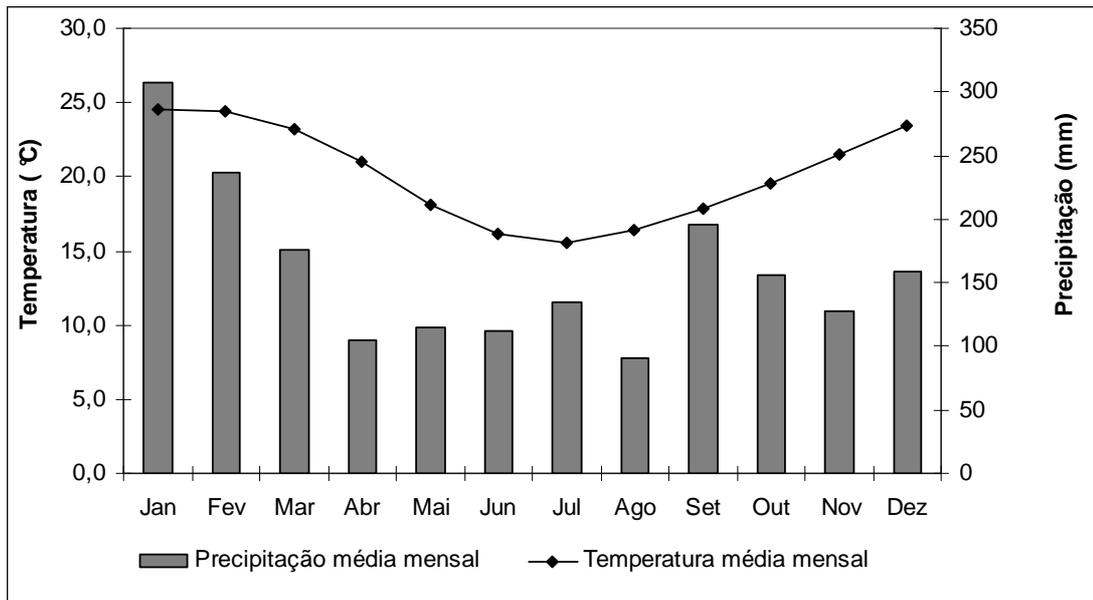


Figura 2 - Médias mensais de temperatura e precipitação para a estação 02649007 - Blumenau (ANA 2007).

A área de estudo está localizada quase totalmente na região fito-ecológica da Floresta Ombrófila Densa (KLEIN, 1978). De acordo com Vibrans, Pellerin e Refosco. (2005), havia no ano 2000 cobertura de florestas, entre primárias, secundárias e formações da sucessão, em 67% da área da bacia, enquanto áreas de agricultura e áreas urbanizadas somaram 33%.

2.2 Dados climáticos

Foram utilizados os dados mensais de precipitação do período de janeiro de 2005 a dezembro de 2006 (ANA, 2007), das 38 estações pluviométricas da Bacia do Itajaí (Figura 3), monitoradas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e pela Agência Nacional de Águas (ANA).

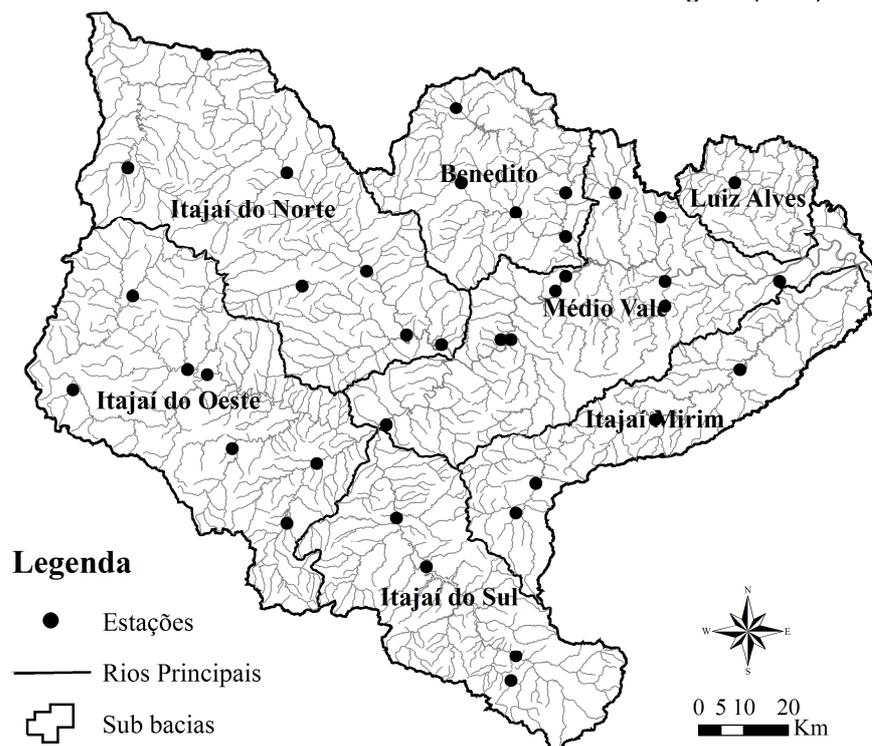


Figura 3 - Localização das estações pluviométricas nas sub-bacias da Bacia do rio Itajaí.

Os dados de séries incompletos de algumas estações não foram preenchidos com dados de estações vizinhas; meses com cinco ou mais dias sem medições foram descartados. Para a temperatura média mensal foram usados os dados de quatro estações meteorológicas: Itajaí, Blumenau, Indaial e Ituporanga.

2.3 Dados de Sensoriamento Remoto (NDVI e EVI)

Para o período de estudo (janeiro de 2005 a dezembro de 2006) foram acessadas e carregadas via FTP do *Earth Observing Data Gateway* (NASA, 2007) as imagens quinzenais georreferenciadas MODIS Terra,

produto MODIS 13 (NDVI e EVI) com resolução espacial de 250 m, com correção atmosférica realizada pela NASA, das respectivas imagens de reflectância, com exemplos na Figura 4. De cada produto, NDVI e EVI, foram adquiridas duas imagens mensais do período de estudo (com exceção do mês de outubro de ambos os anos, para o qual somente há uma imagem). Para as análises foram usados os valores médios de NDVI/EVI extraídos das duas imagens mensais, para serem comparados com os dados climáticos mensais.

As imagens, originalmente na projeção sinusoidal, em formato HDF, foram convertidas para a projeção UTM, Datum SAD-69/Brasil, formato IMG e TIFF no *software* ENVI/RSI 4.4 (RSI, 2005).

(a)



(b)



Figura 4 - Imagens dos índices NDVI (a) e EVI (b) da bacia do Itajaí, geradas a partir de dados MODIS - 13 de 2005.

2.4 Escolha de áreas de agricultura e floresta

Amostras de áreas com as classes temáticas agricultura e floresta foram identificadas e delimitadas sobre as imagens de NDVI/EVI, no ambiente do *software* ENVI e com apoio de imagens multi-espectrais Landsat, com resolução de 30m, com o

objetivo de avaliar a variação temporal dos índices. Foram identificadas 28 áreas, entre nove polígonos de florestas (com 250 pixels cada um) e 19 polígonos de agricultura (com 50 pixels cada um) em toda a área da bacia. Destes polígonos foi extraída a série temporal das respectivas médias de EVI e NDVI.

2.5 Processamento dos dados

Os dados pluviométricos foram tabelados em planilhas *Excel*; a partir das coordenadas geográficas de cada estação os dados foram espacializados em ambiente ArcGIS/ESRI 9.1. (ESRI, 2007). Foram gerados mapas com isolinhas através da interpolação dos dados brutos da precipitação das 38 estações, utilizando a ferramenta “*Spline with tension*”. Conhecidos os valores de precipitação de cada ponto, realizou-se interpolação linear entre estes pontos, considerando-se apenas as distâncias entre eles. Foram estabelecidos valores das isoietas, de 50mm, 60mm e 70mm. Os mapas gerados foram transformados para o formato raster com resolução espacial de 250m, compatíveis com os das imagens MODIS de NDVI e EVI.

No ambiente do *software* ENVI foram extraídos os valores médios de precipitação, NDVI e EVI dos mapas de precipitação e das imagens de NDVI e EVI de todas as datas. Os dados foram tabelados em planilha *Excel* para toda a bacia hidrográfica e para as áreas de florestas naturais e de agricultura; após análise visual da distribuição dos dados, foi calculado o coeficiente de correlação de *Pearson* entre precipitação e

os índices de vegetação. A temperatura média mensal foi calculada a partir das médias das quatro estações para as quais se dispunha de dados. Aplicou-se, portanto, um único valor para toda a bacia do rio Itajaí, sem que estes dados fossem espacializados.

3 Resultados e discussão

3.1 Precipitação e temperatura média mensal

Na Figura 5 constam precipitação mensal e temperatura média mensal para o período estudado na bacia do Itajaí. Comparando-se com a média histórica, chamam atenção os quatro períodos de estiagem que ocorreram durante os dois anos analisados: em fevereiro/março de 2005; em junho/julho de 2005; em novembro/dezembro de 2005 e entre abril e julho de 2006; considerando estiagem período com precipitação menor que 40% da média histórica (CASTRO, 1996). As estiagens refletem também na precipitação anual de 1.595mm (2005) e 1.081 mm (2006), bem abaixo da média histórica de 1.914mm (da estação Blumenau).

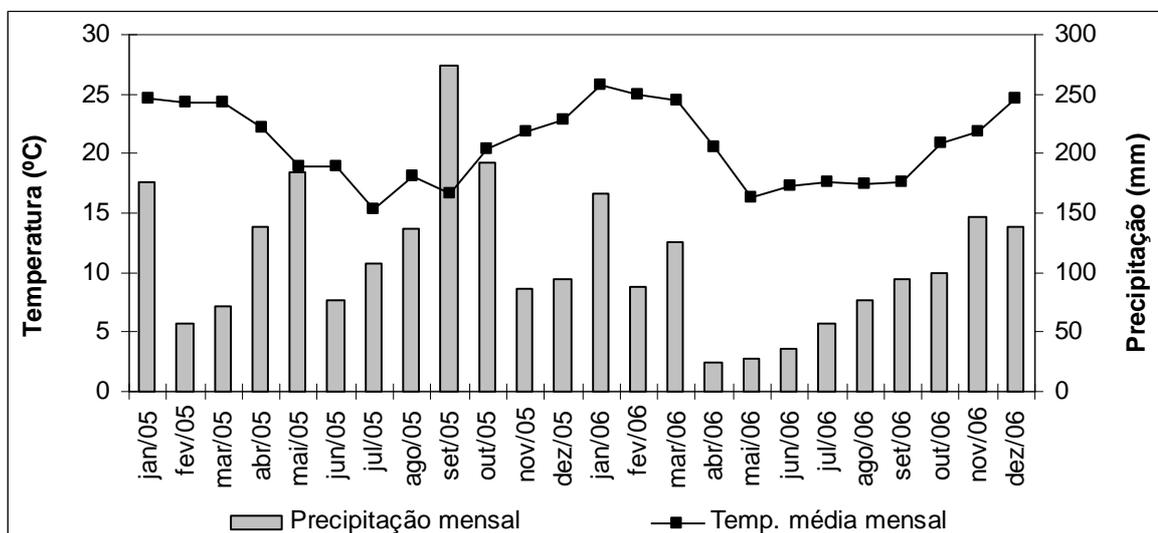


Figura 5 - Médias mensais de temperatura e precipitação para a bacia do rio Itajaí.

3.2 Perfil temporal de precipitação e NDVI/EVI

Comparado com o NDVI, o EVI mostra variações mais acentuadas e aparenta ser mais sensível às oscilações sazonais da resposta espectral da vegetação

(Figura 6). A variação sazonal dos índices, no entanto, não parece ser coerente com as variações da precipitação, como era esperado (SILVEIRA et al. 2008). Apresenta fraca correlação entre NDVI e EVI ($r=0,58$, com valor crítico de 0,53 para $\alpha=0,01$; 23 GL). Os índices tampouco apresentam

similaridade com a curva da precipitação: estiagens não resultam em redução dos índices de vegetação, nem épocas de chuva em aumento. Os meses de janeiro de 2005 e fevereiro de 2006 mostram picos de EVI, muito embora nestes meses a precipitação tenha atingido apenas 28% e 57% da média

histórica do mês, respectivamente. Por consequência, não pode ser observada relação, linear ou não-linear, entre os índices de vegetação e a precipitação (coeficiente de correlação linear de Pearson $r = 0,10$ para EVI e $r = -0,12$ para NDVI).

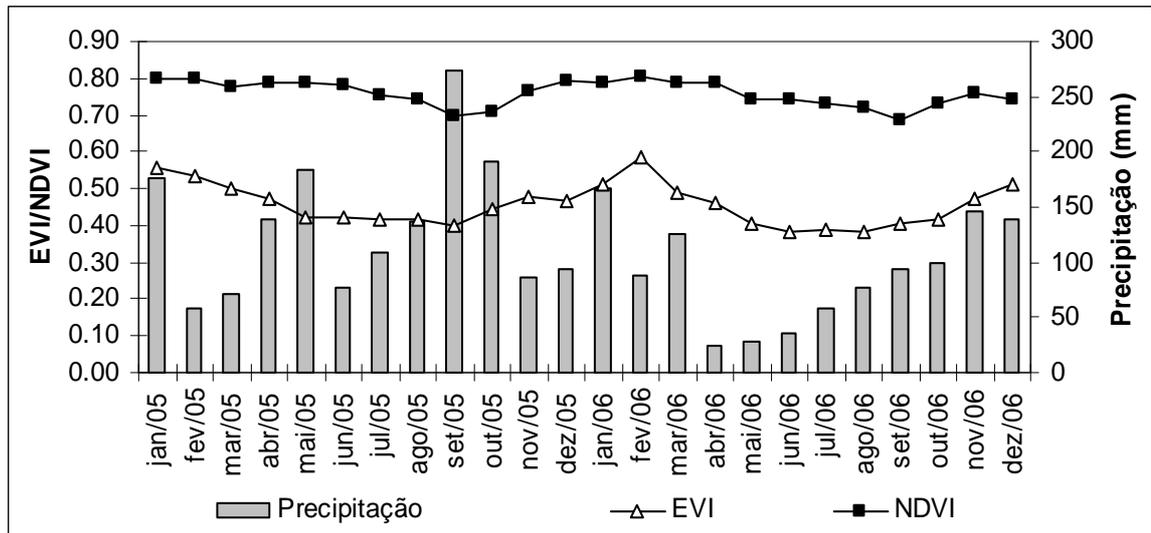


Figura 6 - Variação de NDVI/EVI e precipitação mensal para a bacia do rio Itajaí.

Analisando a relação entre temperatura média mensal e os índices de vegetação, percebe-se que a variação sazonal da temperatura é acompanhada pelos valores do EVI, enquanto há menor similaridade entre as curvas de temperatura e o NDVI (Figura 7). Pode se constatar que

há correlação significativa ($\alpha=0,01$; 23 GL; valor crítico 0,53) entre temperatura e EVI ($r = 0,91$) e também entre temperatura e NDVI ($r = 0,65$). A maior sensibilidade do EVI para estudos da vegetação em regiões florestadas já havia sido constatada por Huete et al. (2002).

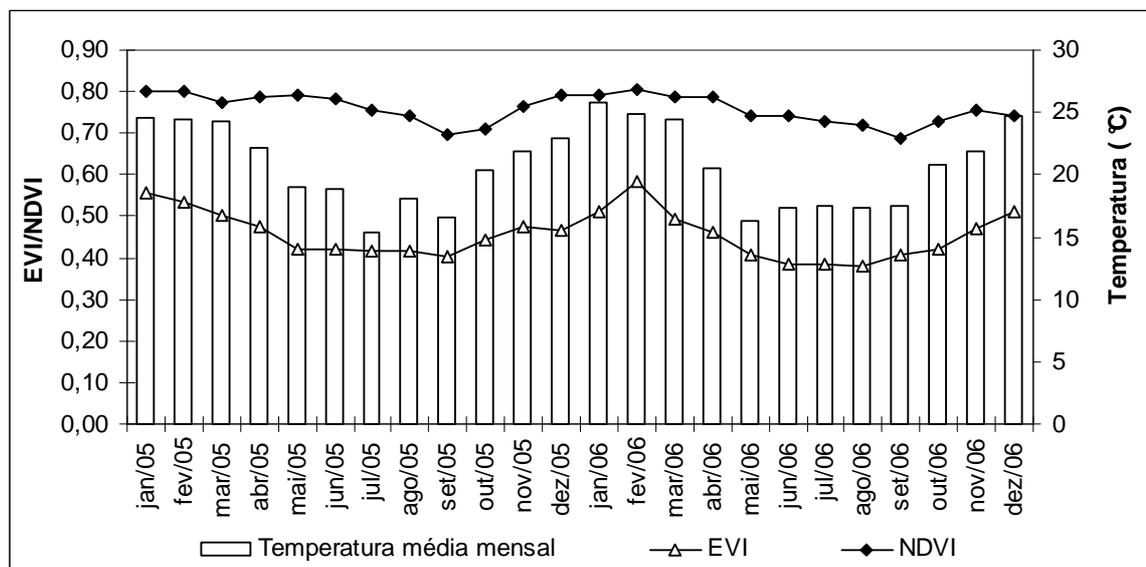


Figura 7 - Variação de NDVI/EVI e temperatura para a bacia do rio Itajaí.

3.3 Perfil temporal para classes de uso da terra (Agricultura e Floresta)

Analisando as classes “Floresta natural” e “Agricultura” separadamente, percebe-se aqui também que o EVI apresenta uma sensibilidade maior que o NDVI para variações temporais (Figura 8). Os valores para a classe agricultura mostram maior variabilidade do que a das florestas, como é de se esperar em função do ciclo produtivo das culturas e da supressão de sua biomassa na época da colheita. Os índices apresentam valores altos nos meses de verão e baixos nos meses de inverno, quando a biomassa verde nas culturas é

reduzida ou ausente. Em ambos os casos, floresta ($r_{EVI} = 0,10$ e $r_{NDVI} = -0,19$) e agricultura ($r_{EVI} = 0,09$ e $r_{NDVI} = -0,15$). No entanto, não foi observada relação entre NDVI/EVI e as variações da precipitação. Isto significa que os índices das culturas agrícolas e o EVI da floresta baixam no inverno, independentemente do inverno ser seco ou chuvoso; por outro lado, eles aumentam no verão, em função da maior massa foliar e atividade fotossintética, independentemente do verão ser seco ou chuvoso.

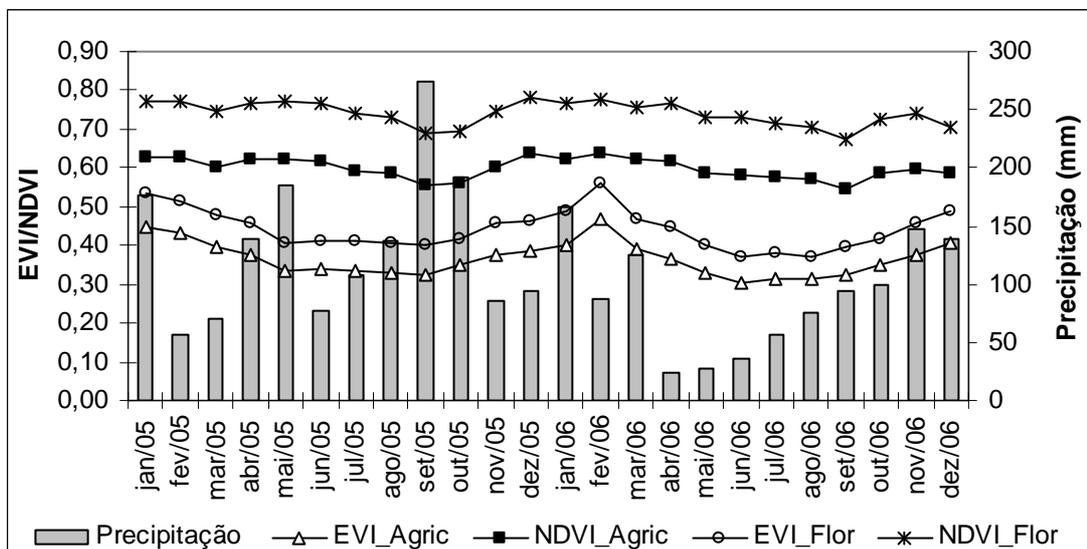


Figura 8 - Perfil temporal de NDVI/EVI e precipitação mensal para as classes floresta e agricultura.

Quanto à temperatura, as observações feitas para a bacia hidrográfica

como um todo, se confirmam para as classes temáticas (Figura 9).

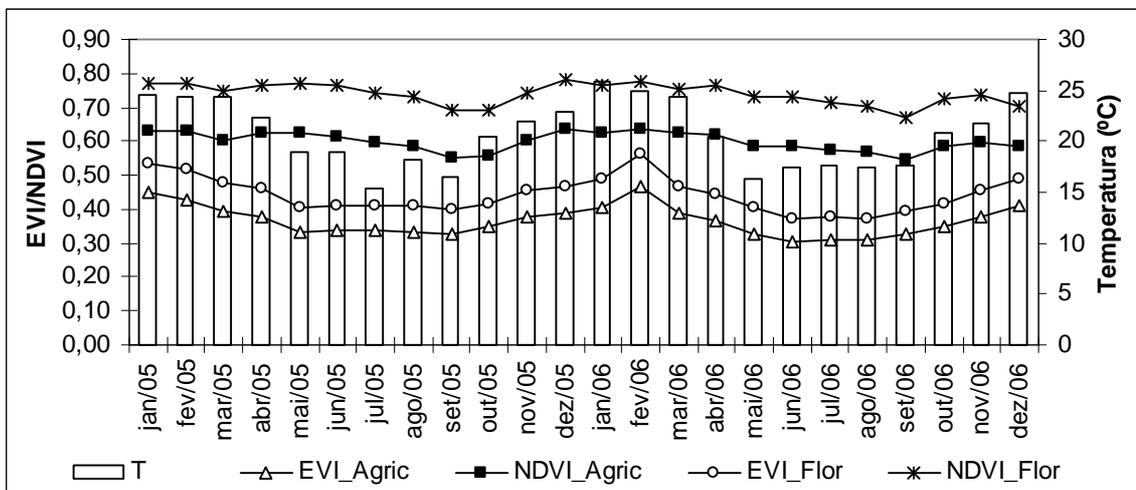


Figura 9 - Perfil temporal de NDVI/EVI e temperatura média mensal para as classes floresta e agricultura.

EVI e temperatura são significativamente correlacionados para probabilidade $\alpha=0,01$ (23 GL; valor crítico de $r = 0,53$), com o coeficiente de correlação levemente maior nas áreas de agricultura ($r_{EVI} = 0,90$ e $r_{NDVI} = 0,66$) do que nas áreas de florestas ($r_{EVI} = 0,89$; $r_{NDVI} = 0,52$). Possivelmente variações da temperatura, ou de fatores ligadas a ela, como intensidade da radiação solar, causem alterações fisiológicas do dossel da vegetação que resultam em alterações de sua resposta espectral registrada pelos índices, como sugerido por Xiao et al. (2006) em estudo de florestas tropicais úmidas. A resolução espacial de 250m das imagens MODIS talvez tenha limitado a análise das áreas agrícolas, uma vez que na região estudada as áreas cultivadas são pequenas, quase sempre menores que 5 ha, o que gera nas imagens usadas uma grande quantidade de *mixed pixels*, com resposta de várias classes temáticas.

4 Conclusões

Os resultados obtidos mostram que, ao contrário do que ocorre em regiões de clima sazonal, onde foi observada correlação significativa entre precipitação e índices de vegetação, não foi possível constatar, numa região com vegetação sempre-verde e com clima de pouca variação sazonal da

precipitação, reflexos de estiagens em EVI e NDVI gerados pelo sensor MODIS TERRA com resolução espacial de 250 m. Diante a ausência de correlação entre as variáveis estudadas, é possível que nem as variações da resposta da vegetação perenifólia da Floresta Ombrófila Densa, nem as das culturas agrícolas, sejam causadas pelo regime de chuva.

Tampouco períodos de prolongada estiagem causaram alterações na resposta da vegetação que tenham mostrado reflexos nos valores dos índices de vegetação. Os índices mostram variações sazonais (inverno/verão), embora em evidente independência do regime pluviométrico. A análise dos índices frente às variações da temperatura mostrou, por outro lado, que há correlação significativa entre temperatura e NDVI e EVI.

Novos estudos com séries temporais mais longas e utilizando dados de outros produtos (canais) do sensor MODIS TERRA, poderão esclarecer a relação entre fatores climáticos e resposta espectral da vegetação. Assim ajudarão a identificar na região de estudo e em outras regiões com clima subtropical úmido ou mesotérmico úmido e, em princípio, sem estação seca, métodos confiáveis de monitoramento do comportamento da vegetação, especialmente no contexto de possíveis mudanças climáticas.

5 Seasonal dynamics of vegetation cover in Itajaí river basin, SC, through MODIS TERRA images

Abstract: *This work focused the consequences of climate variability on the spectral response in remote sensing images, of natural vegetation and agricultural areas in the Itajaí river watershed, Santa Catarina state, Southern Brazil. Fortnightly scenes of MOD13 product from 2005 and 2006 were used, containing the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Enhanced Vegetation Index (EVI) at 250 m spatial resolution. The spatialization of rainfall data from 28 meteorological stations and monthly average temperature of four stations was carried out in cells of 250 m. Unlike what occurs in seasonal climate regions, it was not possible to verify the relationship between seasonal variation of rainfall and NDVI/EVI values. Indexes showed seasonal variations (winter/ summer), although in apparent independence of the rainfall regime. Neither periods of prolonged drought have caused changes in vegetation response that have shown reflexes in the vegetation index values. Given the lack of correlation between variables, it is possible that neither variations of the response of evergreen rain forest vegetation, nor of agricultural crops are caused by rainfall regime. A significant correlation was noticed between the indexes and the average monthly temperature, both in natural vegetation and crops. It was concluded that the analyzed indexes can be more influenced by temperature than by rainfall.*

Key-words: Vegetation indices. MODIS TERRA images. Dry seasons. Remote sensing.

6 Referências

- ANA - Agência Nacional de Águas: **Informações Hidrológicas (Hidroweb). Dados Hidrológicos, Séries Históricas.** 2003. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/portalsnirh>>. Acesso em: 29 ago. 2007.
- BARET, F.; GUYOT, G. Potential and Limits of Vegetation Indices for LAI e APAR Assessment. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.3, p.161-173, 1991.
- BRAGA, C. C., BRITO, J. I. B., SANSIGOLO, C.A., RAO, T.V.R. Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.11, n.1, p.149-157, 2003.
- CASTRO, A. L. C. de. **Desastres naturais.** Brasília, D.F.: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1996, 182 p. (Manual de desastres, v.1).
- COMITÉ DO ITAJAÍ. Disponível em: <www.comiteitajai.org.br/>. Acesso em: 2 ago. 2009.
- ESRI. Environmental Systems Research Institute, Inc. ArcGis 9.1 Esri, United States, 2007.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.P.; GAO, X.; FERREIRA, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p.195–213, 2002.
- JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G.; VERMOTE, E.F.; MASUOKA, E.; WOLFE R.E.; SALEOUS N., ROY D.P.; MORISETTE J.T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v.83 p.3-15, 2002.
- KLEIN, R.M. **Mapa fitogeográfico do estado de Santa Catarina.** Herbário Barbosa Rodrigues, Itajaí: UFSC, 1978. 24p.
- KLEIN, R.M. Ecologia da flora e vegetação do Vale do Itajaí. **Sellowia: Anais Botânicos do Herbário Barbosa Rodrigues**, Itajaí, v. 31/32, p.1-389, 1979/80.
- LOHMANN, M.; MARTINI, L.; DEPPE, F. Monitoramento da evolução temporal da cultura da soja no estado do Paraná utilizando imagens do sensor MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR). 21-26 abr. 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 263-269.
- MESQUITA, R.V.; FERREIRA, L.G.; FERREIRA, N.C., FERREIRA, M.E. Discriminação sazonal de classes de cobertura da terra em Goiás a partir de imagens MODIS índices de vegetação. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007, p. 4045-4052.
- MIURA T.; HUETE A.R.; YOSHIOKA H.; HOLBEN B.N. An error and sensitivity analysis of atmospheric resistant vegetation indices derived from dark target-based atmospheric correction. **Remote Sensing of Environment**, v.78, n.3, p.284-298, 2001.
- NASA. Dados Modis. Disponível em: <<http://modis.gsfc.nasa.gov/>>. Acesso em: 30 ago. 2007.
- NOVO, E. M. L.; FERREIRA, L. G.; BARBOSA, C.; CARVALHO, C.; SANO, E. E.; SHIMABUKURO Y.; HUETE A.; POTTER, C.; ROBERTS, D. A.; HESS, L. L.; MELACK, J.J.; YOSHIOKA, H.; KLOOSTER, S.; KUMAR V.; MYNENI R.; RATANA, P.; DIDAN, K.; MIURA, T. Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos. **Acta Amazônica**, v.35, n.2, p.259-272, 2005.
- PONZONI, F. J.. Comportamento espectral da vegetação. In: Menezes, P. R.; Madeira Neto, J. S. **Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais.** Brasília: UnB/Embrapa. p.157-199. 2001.
- REFOSCO, J. C.. **Mudanças no uso da Terra – o caso da bacia do Itajaí/SC a partir de um modelo dinâmico.** 2004. 210f. Tese (Doutorado Interdisciplinar em Ciências Humanas) – UFSC, Florianópolis, 2004.
- RSI (RESEARCH SYSTEM INC.). The Environment for Visualizing Images – ENVI. Versão 4.4. 2005.
- SEVEGNANI, L. Vegetação da Bacia do Rio Itajaí em Santa Catarina. In: Schäffer, W.B.; Prochnow, M. (org.) **A Mata Atlântica e você: como preservar, recuperar e se beneficiar da mais ameaçada floresta brasileira.** Brasília: APREMAVI, 2002. p. 85-102.
- SILVA, M. R.; RIBEIRO, M. G.; CENTENO, J. A. S. Monitoramento de estiagens com imagens MODIS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR). 21-26 abr. 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 6229-6236.
- SILVEIRA E.M.O.; CARVALHO, L.M.T.; ACERBI-JUNIOR, F.W. MELLO, J.M. The assessment of vegetation seasonal dynamics using multitemporal NDVI and EVI images derived from modis. **Cerne**, Lavras, v.14, n.2, p.177-184, 2008.
- TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation.

Remote Sensing of Environment, v.8, p. 127-150, 1979.

VIBRANS, A. C. **A cobertura florestal da bacia do Rio Itajaí – elementos para uma análise histórica**. 2003. 240f. Tese (Doutorado em Geografia) - UFSC, Florianópolis, 2003.

VIBRANS, A.C.; PELLERIN, J.; REFOSCO, J. C. A cobertura florestal da bacia do Rio Itajaí em Santa Catarina. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1691-1698.

XIAO, X.; HAGEN, S.; ZHANG, Q.; KELLER, M.; MOORE, B. Detecting leaf phenology o seasonally moist tropical forests in south America with multi-temporal MODIS images. **Remote Sensing of Environment**, n. 103, p. 465 473, 2006.

7 Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de Iniciação Científica (PIBIC) e à EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina) pela cessão de dados pluviométricos e de temperatura.