

Perfil temporal de EVI/NDVI na bacia hidrográfica do rio Itajaí em Santa Catarina

Alexander Christian Vibrans¹
Vanessa Fernanda Schramm^{1,2}

¹ Universidade Regional de Blumenau – FURB
Rua São Paulo 3250 – 89030-000 - Blumenau - SC, Brasil
acv@furb.br; vaschramm@hotmail.com

² Bolsista de iniciação científica PIBIC/FURB

Abstract. Spectral vegetation indices are widely used to describe phenological evolution of vegetation cover, mostly extracted from high temporal resolution images. These data are important for integrated landscape analysis and for monitoring and prediction of land use and climate change patterns. This study was aimed to describe seasonal dynamics of vegetation cover within Itajaí river watershed in Santa Catarina State, South Brazil, between 2001 and 2006. The work seeks to provide information on possible responses of extraordinary dry seasons on vegetation indices in a region with subtropical humid climate with low rainfall seasonality and evergreen forests. Time series of MODIS 13 EVI and NDVI datasets (250m, 16 days composites) of dry and wet periods were compared. Precipitation data were rasterized into 250m cells through linear interpolation and crossed with vegetation index values. Graphical and statistical analyses were performed on time-series of data from the entire study region and separately from subbasins and field sites of different land cover classes (closed forest and agriculture lands). The results show that there is no agreement between vegetation indices and monthly precipitation patterns, neither observing the following months after precipitation events. EVI and NDVI data tracked similar seasonal response for all landcover types, but seem to behave independently from rainfall variations observed within the period studied, contrarily to results reported in literature. In absence of any correlation between vegetation indices and precipitation data, studies involving other climate factors have to be carried out in this bioclimatic region.

Key-words: vegetation indices, MODIS/TERRA time series, precipitation seasonality, landcover, índices de vegetação, séries temporais MODIS/TERRA, sazonalidade da precipitação, cobertura da terra.

1. Introdução

A observação das variações fenológicas da vegetação através de índices de vegetação obtidos de imagens orbitais de alta frequência temporal, é usada para a análise integrada dos componentes de uma paisagem e para o entendimento e predição de suas mudanças. Numa bacia hidrográfica as informações sobre variações sazonais do comportamento da vegetação podem ser usadas para a modelagem hidrológica e a tomada de decisões acerca da gestão dos recursos hídricos.

Os dados coletados pelo sensor MODIS TERRA permitem a geração de imagens de índices de vegetação de alta frequência temporal (num intervalo de 16 dias), o que facilita a análise multitemporal de fenômenos terrestres. De modo geral, índices de vegetação são usados para indicar a presença e o estado da vegetação, uma vez que a produção primária de uma comunidade vegetal mostra estreita relação com a energia (irradiância solar) absorvida por ela (BARET e 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.

Os índices NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*) são usados para quantificar a biomassa e para a observação do estado de desenvolvimento e das variações fenológicas da vegetação. O NDVI é calculado através da equação (1) $NDVI = (\rho_{IVP} - \rho_V) / (\rho_{IVP} + \rho_V)$, onde ρ_{IVP} e ρ_V representam os valores da reflectância nas bandas do infra-vermelho próximo e do vermelho, respectivamente.

O EVI foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, além do monitoramento da vegetação através de uma ligação do sinal de fundo do dossel e a redução das influências atmosféricas (JUSTICE et al. 1998). O EVI é calculado através de:

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

onde ρ_V , ρ_{IV} e ρ_A representam os valores de reflectância nas bandas do vermelho, infravermelho próximo e azul, respectivamente; L é fator de ajuste para o solo, e C_1 e C_2 são coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera e G é 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, de acordo com o seus estados fenológicos descritos por Ponzoni (2001) como período de aumento da atividade fotossintética, período do máximo vigor vegetativo, período do início de estresse fisiológico e período de senescência foliar.

O sensor norte-americano MODIS (*Moderate Resolution Image Spectroradiometer*), a bordo do satélite TERRA tem 36 bandas espectrais cobrindo o espectro eletromagnético entre 0,4 μm e 15 μm . A sua resolução espacial é de 250 metros e a sua resolução temporal é de 8 e 16 dias, conforme a banda. Além das bandas originais, a NASA disponibiliza para os usuários bandas sintéticas, contendo o NDVI e o EVI, no seu produto chamado MOD13Q1.

De acordo com Braga et al. (2003), séries temporais e espaciais do NDVI têm sido utilizadas em todo o mundo para identificação e classificação da vegetação, para a caracterização da dinâmica da vegetação e para monitoramento de estiagens. Silva et al. (2007) destacam que as variações temporais do ciclo hidrológico não são apenas o resultado da ação antrópica, mas também obedecem a oscilações climáticas, muitas delas ainda pouco conhecidas. Levando em consideração tais aspectos, estudos de detecção de mudanças através do sensoriamento remoto são baseados no fato de que distúrbios, tanto naturais quanto de origem antrópica no meio ambiente, produzem variações detectáveis na resposta espectral do alvo ou do fenômeno estudado.

Segundo Gonçalves et al. (2004), no Estado de Santa Catarina, as estiagens estão entre os fenômenos que causam desastres naturais com os maiores períodos de duração, se comparados com o tempo de duração de enchentes, enxurradas e deslizamentos. Os prejuízos à economia do estado são enormes e, segundo o autor, afetam tanto economicamente como socialmente a população catarinense.

O objetivo do presente trabalho é a caracterização da dinâmica sazonal da cobertura vegetal no período entre 2001 e 2006, durante o qual ocorreram vários períodos prolongados de estiagem na região. Para avaliar o efeito das estiagens sobre a vegetação na bacia, dados de NDVI e EVI dos períodos de estiagem serão comparados com períodos chuvosos.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A área de estudo deste trabalho é a bacia hidrográfica do rio Itajaí, situada no leste do estado de Santa Catarina, com uma área de 15.500 km², correspondendo a 16,15% do território catarinense (Figura 1). A bacia está limitada pelos pontos de coordenadas de 26° 30' e 28° Sul e 48° 30' e 50° 30' Oeste, abrangendo 47 municípios, com aproximadamente um milhão de habitantes. 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 4 geadas por ano, normalmente nos meses de junho e julho. A precipitação anual varia entre 1.600 e 1.800 mm, ocorrendo nenhum mês com déficit hídrico, porém chuvas mais intensas no verão.

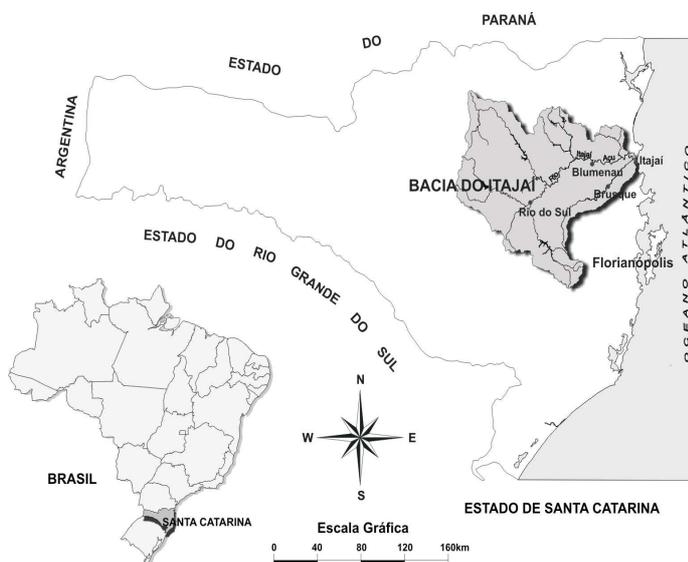


Figura 01: Localização da área de estudo.

2.2 Obtenção dos dados

2.2.1 Dados pluviométricos

Os dados mensais de precipitação coletadas pelas 38 estações meteorológicas ativas na Bacia do Itajaí e monitoradas pela EPAGRI, do período de 2001 a 2006, foram coletados via *web* do banco de dados do Sistema de Informações Hidrológicas (*HidroWeb*), da Agência Nacional de Águas (ANA).

A partir destes dados brutos foram identificados os períodos chuvosos e de estiagem, calculando-se o Índice de Estiagem. A definição de período de estiagem seguiu a metodologia de Castro (1996), que define estiagem como o período com precipitação mensal menor que 40% da média histórica do mês. Estação chuvosa foi considerada o período com precipitação maior que 150% da média histórica. Desta forma, determinou-se o Índice de Estiagem (IE) a partir da série das médias históricas mensais das estações, sendo ele o quociente entre precipitação mensal e a média histórica do mês. Foram identificados 6 meses chuvosos ($IE \geq 1,5$) e nove meses de estiagem ($IE \leq 0,4$).

2.2.2 Dados de Sensoriamento Remoto (NDVI e EVI)

Definidos os períodos chuvosos e de estiagem a serem analisados, foram acessadas e as imagens quinzenais georeferenciadas MODIS TERRA, produto MODIS 13 (NDVI e EVI) na *homepage* do USGS/LP DAAC e carregadas via ftp. Para cada produto, NDVI e EVI, foram adquiridas 2 imagens para cada um dos 15 meses de análise escolhidos, do período entre maio 2001 e julho de 2006, com resolução de 250m (Figura 2); uma vez que os dados climáticos são mensais, foram utilizados para as análises os valores médios das duas imagens de cada mês.

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 4.3.

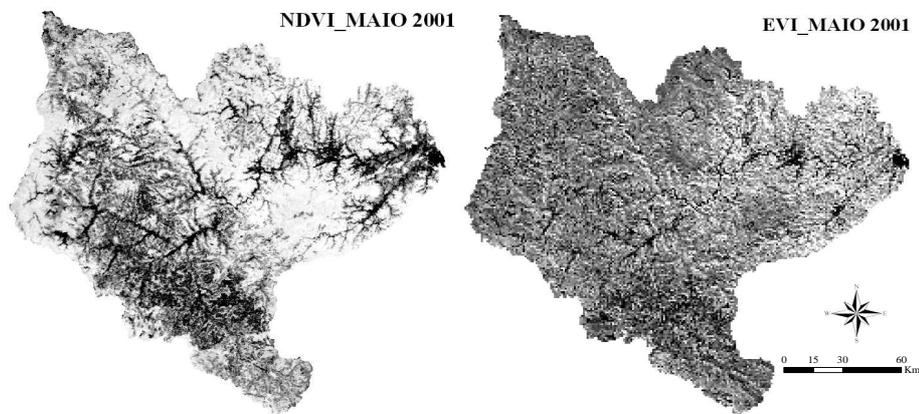


Figura 2: Imagens dos índices EVI e NDVI da bacia do Itajaí (MODIS 13).

2.2.3 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, com apoio de imagens multi-espectrais *Landsat*, com resolução de 30m, com o objetivo de avaliar a variação temporal dos índices nas classes de Agricultura e Floresta. Foram identificadas 28 áreas, entre 9 polígonos de Florestas (com 250 *pixels* cada um) e 19 polígonos de Agricultura (com 50 *pixels* cada um) em toda a área da bacia do Itajaí.

2.2.4 Processamento dos dados

Os dados pluviométricos foram tabelados em planilhas *Excel*, calculando-se o IE de cada estação meteorológica para os períodos definidos; posteriormente os dados foram espacializados em ambiente ArcGIS/ESRI 9.1 a partir das coordenadas geográficas de cada estação. Foram gerados mapas com isolinhas em escala decimal do IE através da interpolação dos dados brutos da precipitação (IE) das 38 estações, utilizando a ferramenta “*Spline with tension*”. Os mapas gerados foram transformados para o formato *raster* com células de 250m, compatíveis com as das imagens MODIS de NDVI e EVI.

No *software* ENVI/RSI 4.3 foram associados num único arquivo no formato IMG todos os mapas de precipitação dos referidos períodos; da mesma forma foram criados arquivos contendo as imagens de NDVI e EVI de todas as datas. Em seguida foram extraídos e tabelados em *Excel* os valores médios de precipitação (IE) e NDVI e EVI: a) da bacia toda, b) das sub-bacias e c) das áreas de florestas naturais e de agricultura utilizando rotinas do *software* ENVI. Por fim foi calculado o índice de correlação de *Pearson* para as imagens/mapas de precipitação e NDVI/EVI no ambiente ENVI.

3 Resultados e Discussão

3.1 Precipitação

Na Figura 3 constam precipitação mensal e Índice de Estiagem (IE) para os períodos estudados na bacia do Itajaí, que mostram curvas semelhantes. Da mesma maneira foi gerado um gráfico para as sub-bacias, apresentando curvas de precipitação similares as da bacia, mas que também refletem as diferenças dos eventos climáticos ocorridas nelas.

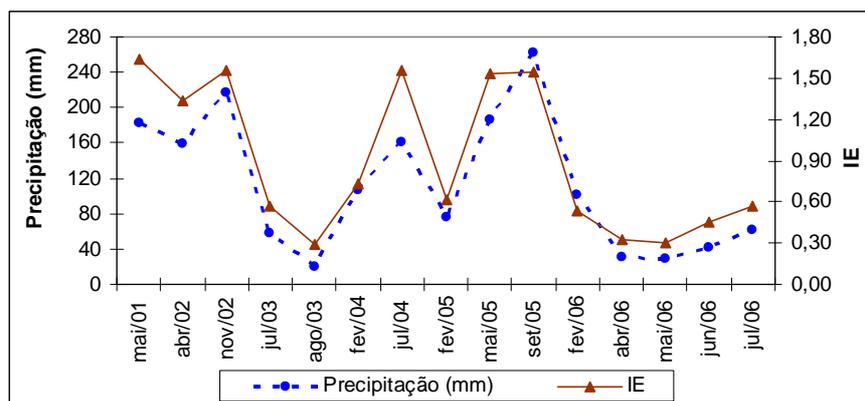


Figura 3: Médias mensais de precipitação e Índice de Estiagem (IE) das 38 estações dos períodos chuvosos e de estiagem entre 2001 e 2006.

3.2 Espacialização dos dados de precipitação (período chuvoso e de estiagem)

No período entre 2001 e 2006 foram encontrados 9 períodos de estiagem, com $IE \leq 0,4$ e 6 períodos chuvosos, com $IE \geq 1,5$. Exemplos dos mapas com a espacialização dos dados pluviométricos das 38 estações em formato vetor constam na Figura 4.

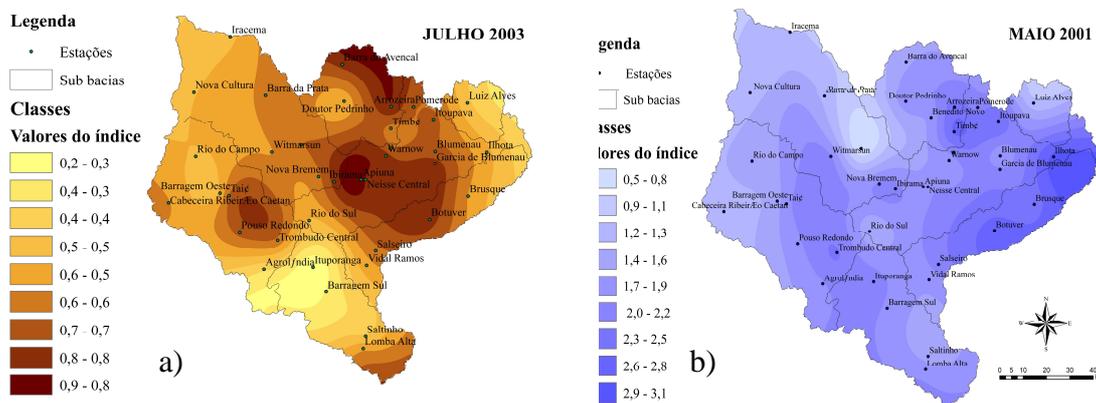


Figura 4: a) Mapa de estiagem de julho/2003; b) Mapa do período chuvoso de maio/2001.

3.3 Perfil temporal de precipitação e NDVI/EVI

O comportamento das médias dos valores de precipitação e de NDVI e EVI ao longo dos períodos estudados em toda a área da bacia é apresentado na Figura 5. O EVI mostra variações mais acentuadas e aparenta ser mais sensível às oscilações sazonais da resposta espectral da vegetação do que o NDVI. A variação sazonal dos índices, no entanto, não parece ser coerente: em alguns anos há, como era esperado (SILVEIRA et al., 2008), valores mais altos nos meses de verão e mais baixos no inverno, em outros, porém, ocorre o contrário.

Assim, embora semelhantes entre eles, os índices não apresentam similaridade com a curva de precipitação: estiagens não resultam em redução dos índices de vegetação, tampouco épocas de chuva em aumento. Nota-se que os valores mais baixos de ambos os índices correspondem ao mês de setembro do ano de 2005, e não ao período mais acentuado da estiagem nos meses de agosto de 2003 e abril/maio de 2006, como seria o esperado. Os meses de fevereiro de 2004, 2005 e 2006 mostram claramente picos de EVI, muito embora nestes três meses a precipitação atingisse apenas entre 20 e 30% da média histórica do mês.

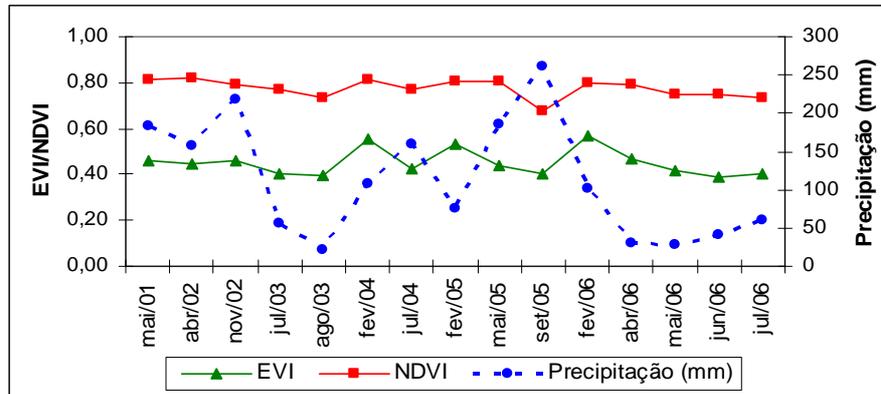


Figura 5: Variação de NDVI/EVI e precipitação mensal para a área da bacia do rio Itajaí.

Observações semelhantes podem ser feitas a partir dos dados estratificados por sub-bacia; em algumas sub-bacias a resposta do EVI apresenta-se mais claramente do que em outras; em todas, o NDVI mostra menor variação e com isso, menor sensibilidade à sazonalidade da vegetação do que o EVI. A mesma análise foi realizada usando dados de NDVI/EVI do mês seguinte ao período chuvoso/estiagem, testando a hipótese de existir um deslocamento temporal da resposta da vegetação ao evento pluviométrico. Os resultados são similares ao procedimento anterior e tampouco indicam relação entre as variáveis estudadas.

3.4 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 6).

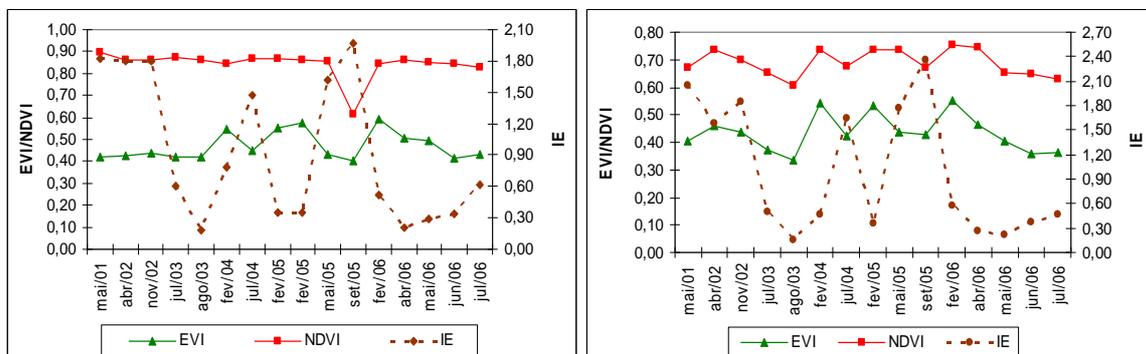


Figura 6: Coeficientes EVI/NDVI e Índice de Estiagem (IE) para as classes de uso do solo.

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 altas nos meses de verão e baixas nos meses de inverno, quando a biomassa verde nas culturas é reduzida ou ausente. Em ambos os

casos, floresta e agricultura, no entanto, parece também não haver 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 ter estiagem ou ser chuvoso.

3.5 Correlação entre Precipitação e Índices de Vegetação

Na Figura 7 são apresentados os valores do coeficiente de correlação entre precipitação e NDVI/EVI para cada uma das áreas de floresta e agricultura analisadas ao longo dos períodos de estiagem e chuvoso. Os resultados da análise do período de estiagem ($r_{\alpha=0,05; 7 \text{ GL}} = 0,58$) mostram que para duas das 9 áreas de florestas e 5 das 19 áreas agrícolas existe correlação significativa entre EVI/NDVI e precipitação ao nível de $\alpha=0,05$. Para o período chuvoso ($r_{\alpha=0,05; 4 \text{ GL}} = 0,72$) as relações em nenhuma das áreas podem ser consideradas significantes.

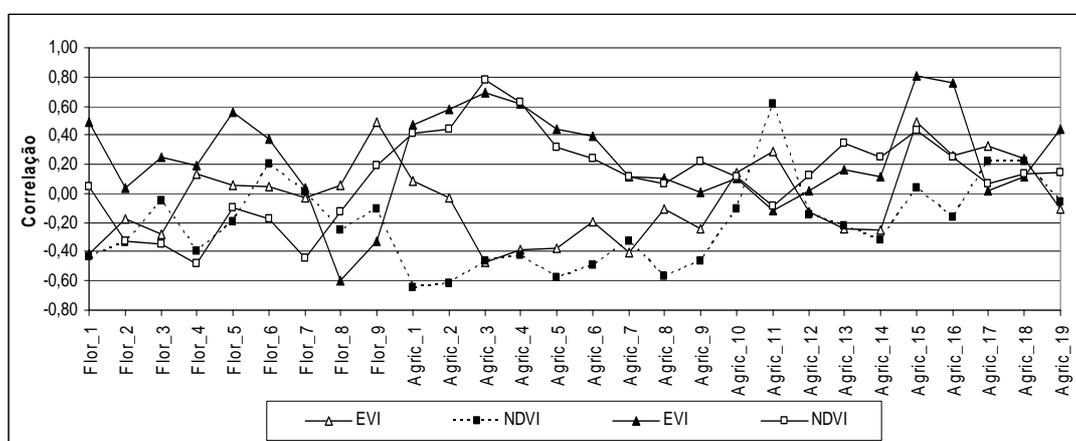


Figura 7: Coeficiente de correlação de *Pearson* entre EVI/NDVI e precipitação para as classes nos períodos de estiagem ($r_{\alpha=0,05; 7 \text{ GL}} = 0,58$) e chuvosos ($r_{\alpha=0,05; 4 \text{ GL}} = 0,72$).

4 Conclusões

Os resultados obtidos mostram que não foi possível constatar a relação entre as variáveis analisadas, numa região com vegetação sempre-verde e com clima de pouca variação sazonal da precipitação, ao contrário do que ocorre em regiões de clima sazonal, onde foi observada correlação significativa entre estas variáveis. Neste estudo o índice EVI mostrou-se mais sensível às variações sazonais da cobertura da terra do que o NDVI; diante da fraca ou ausente relação entre as variáveis precipitação e NDVI/EVI para região da bacia do Itajaí, conclui-se que estes índices não permitem o monitoramento de estiagens, ao contrário do que constatarem estudos em outras regiões brasileiras. Como as análises estatísticas não deixam dúvidas sobre a ausência de correlação, duas explicações são possíveis: a) o sensor MODIS não é adequado para o registro das oscilações sazonais da área de estudo; b) a vegetação sempre-verde da Floresta Ombrófila Densa, que é a principal forma de cobertura da terra com 67% da área, observada em conjunto com os outros usos da terra, realmente não está sofrendo variações significativas e detectáveis pelo sensor MODIS nem nos períodos de prolongada estiagem.

Observadas áreas de florestas naturais e de culturas agrícolas separadamente, os índices mostram variações sazonais (inverno/verão), embora em evidente independência do regime pluviométrico. Em relação às culturas agrícolas, a resolução de 250m das imagens talvez tenha limitada a análise, uma vez que na região predominam os minifúndios e as áreas cultivadas são pequenas, quase sempre menores que 3ha, o que gera em imagens com

resolução de 250m uma grande quantidade de *mixed pixels* com resposta de várias classes temáticas. Possivelmente a sazonalidade da temperatura e da radiação solar influenciem mais intensamente do que a precipitação o comportamento espectral tanto da vegetação natural como das culturas agrícolas. Contudo, novos estudos, considerando estas variáveis climáticas, com detalhamento maior da observação de classes de cobertura, com séries temporais mais longas e uso de dados de outros produtos (canais) do sensor MODIS podem ajudar a identificar métodos confiáveis de monitoramento da sazonalidade da vegetação e de estiagens na região de estudo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Regional de Blumenau pela concessão de bolsa de Iniciação Científica (PIBIC/FURB) e à EPAGRI pela cessão de dados pluviométricos de algumas estações não disponíveis na HidroWeb.

Referências Bibliográficas

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, abr. 2003.

Castro, A. L. C. de. **Desastres naturais**. Brasília, D.F.: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1996, 182 p. (Manual de desastres, v.1).

Gonçalves, E. F.; Moller, G. S. F.; Rudorff, F. M. Distribuição dos desastres naturais no Estado de Santa Catarina: estiagem (1980 – 2003). In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 1., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004. Artigos, p. 773-786.

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, p. 1228– 1249, jul.1998.

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.

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.

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, Santa Catarina. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. Artigos, p. 6229-6236. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.22.26>. Acesso em: 05 jun.2008.

Silveira E.M.O.; et al. 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.