

Variação anual do EVI e NDVI de tipologias vegetais na APA de Ibirapuitã, Rio Grande do Sul, Brasil

Andreise Moreira ¹
Tatiana Mora Kuplich ¹
Daniela Wancura Barbieri ¹
Ana Carolina Rodrigues Silveira ¹
Raul Candido da Trindade Paixão Coelho ²

¹ Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais - CRS/INPE
Caixa Postal 5021 - 97105-970 - Santa Maria - RS, Brasil
{andreisem, daniwbarbieri, carolarsil}@gmail.com; tmk@dsr.inpe.br

² Instituto Chico Mendes - ICMBio
Rua Treze de Maio, n. 410 - sala 103 - 97573-500 - Santana do Livramento - RS, Brasil
raul.coelho@icmbio.gov.br

Abstract. This aimed to study the phenology of different vegetation typologies that cover the Ibirapuitã environmental protection area (APA), located within the Pampa biome, Rio Grande do Sul. The objective was to verify the existence of seasonal patterns to allow discrimination of vegetation types through analysis of MODIS/vegetation indices time series. Also, we investigated the differences in the responses of the two vegetation indices - EVI and NDVI - of the main vegetation typologies of the APA for 2011. EVI and NDVI annual and intra-annual averaged data were collected and analyzed in the form of graphs and z statistics. The results showed that, during the summer and spring, there is a higher spatial heterogeneity and a greater productivity of the studied typologies, while in winter and autumn, during the period of senescence, there is less biological activity and increased spatial homogeneity of the spectral responses of plant types (with the exception cultivated pasture which is planted in autumn and winter). Among the herbaceous typologies, prostrate and cespitous grasslands, cultivated pasture and invasive-annoni showed varied mean values of EVI and NDVI, however, with similar seasonal trends. Despite the intra-annual differences found, typical patterns, which would allow the discrimination of vegetation types through temporal series analysis, were not observed here. NDVI values showed greater sensitivity to intra-annual phenological variations of the vegetation types considered.

Palavras-chave: phenological variation, time series, vegetation indices, variação fenológica, série temporal, índices de vegetação.

1. Introdução

A fenologia se refere ao estudo das diferentes fases de crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais, incluindo a duração e período do ano em que estas fases preferencialmente ocorrem. A identificação de padrões fenológicos em séries temporais de dados de vegetação permite a observação de anomalias e efeitos de mudanças climáticas ou ambientais nestes ciclos, assim como a previsão de ritmos de crescimento e produtividade, auxiliando ações de manejo e conservação.

As séries temporais dos índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI, (*Enhanced Vegetation Index*) derivados de produtos MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), estão disponíveis desde os anos 2000 e têm sido utilizadas para o monitoramento da vegetação (Rosemback et al., 2010; Freitas et al., 2011).

O estudo dos campos sulinos foi negligenciado por muitos anos (Overbeck et al., 2007), mas atualmente tem sido foco de pesquisas e ações de conservação (Pillar et al., 2009). O conhecimento acerca da fenologia das diferentes tipologias vegetais que compõem o bioma Pampa auxilia enormemente atividades de manejo da atividade pecuária e o planejamento e instalação de iniciativas de conservação da biodiversidade campestre.

Este trabalho propõe o estudo da fenologia de diferentes tipologias campestres que cobrem a Área de Proteção Ambiental do Ibirapuitã (APA), a única área federal protegida localizada dentro do bioma Pampa, no Rio Grande do Sul.

O objetivo é verificar a existência de padrões sazonais variados que permitam suas discriminações através da análise de séries temporais de dados MODIS. Também se investiga as diferenças nas respostas dos dois índices de vegetação analisados - EVI e NDVI - às mudanças sazonais das tipologias vegetais predominantes da APA, para o ano de 2011.

1.1 Área de Estudo

A área de estudo abrange a APA do Ibirapuitã (Figura 1), criada em 1992 pelo Decreto 529, distribuída entre os municípios de Alegrete (15%), Quaraí (12%), Rosário do Sul (16%) e Santana do Livramento (57%), no Estado do Rio Grande do Sul, com área aproximada de 318.000 ha. A APA é considerada uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável (UC) e foi criada com o objetivo de garantir a conservação da diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (MMA, 2002).

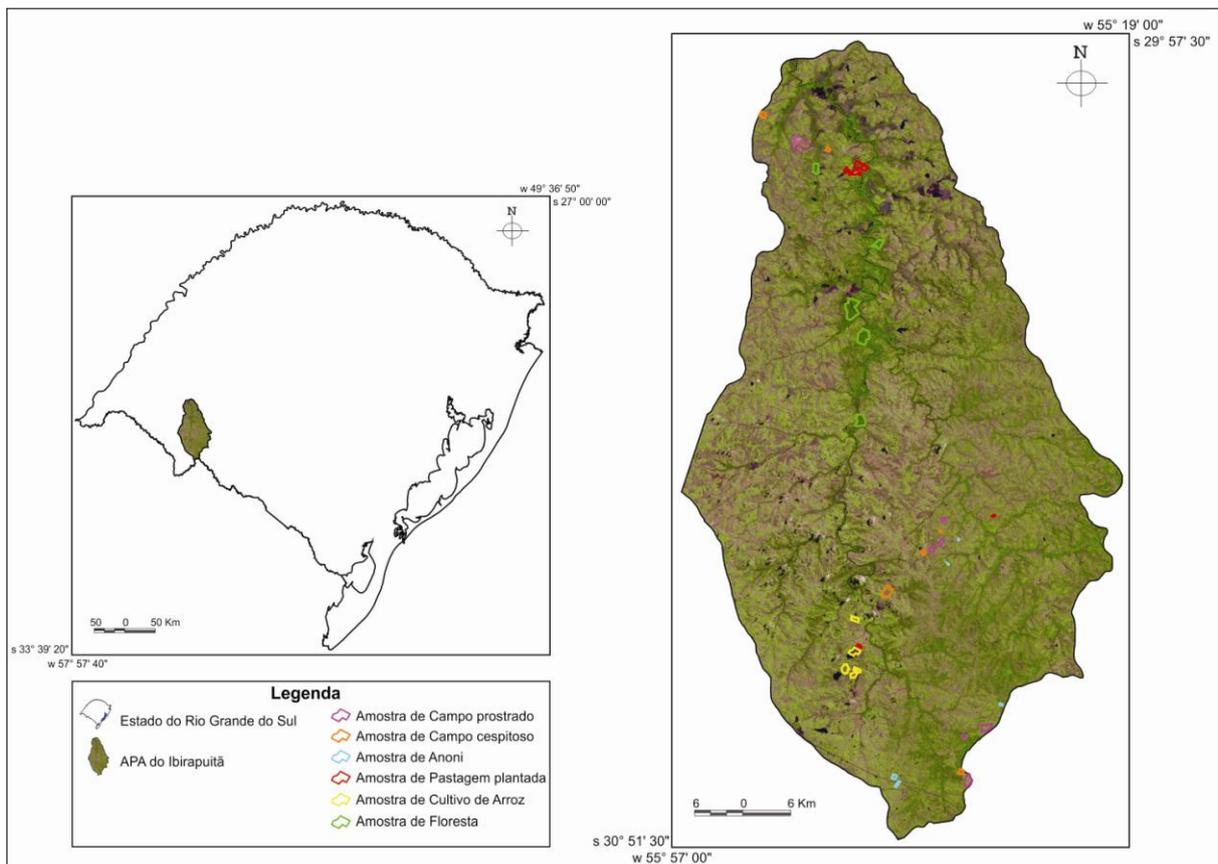


Figura 1. Localização da área e amostras de estudo.

Fonte: Estado do Rio Grande do Sul (Hasenack e Weber, 2010); Apa do Ibirapuitã (Imagem Landsat 5 - TM); Amostras de estudo - Trabalho de campo - (2011/2012).

A APA é coberta principalmente por vegetação campestre e está totalmente inserida no bioma Pampa, tendo uso destinado à produção pecuária extensiva de bovinos e ovinos. Também, ocorre o desenvolvimento da agricultura com cultivo de arroz irrigado por inundação e presença esporádica de lavouras de soja, milho e trigo (MMA, 2002).

A maior parte da APA é composta de “campos de solos rasos”, característicos da fronteira oeste do RS, com relevo ondulado e altitude entre 30 e 400m. Os solos são muito rasos

compostos por basalto, pedregosos e com baixa capacidade de retenção hídrica, principalmente durante o verão. A vegetação apresenta gramíneas cespitosas de porte baixo e compostas (Boldrini et al., 2010). Na parte norte da APA, em menor extensão, também são encontrados “campos mistos de andropogônias e compostas”, em solos mais profundos, mas de baixa fertilidade, com vegetação de gramíneas e compostas (Boldrini et al., 2010; Hasenack et al., 2010).

Segundo a classificação climática de Köppen, na região predomina o clima temperado úmido, com estações bem definidas (Peel et al., 2007). A temperatura média anual é de 18,6°C, com variação média entre 13,1°C no inverno e 24°C no verão (Costa, 2009). A precipitação pluvial é bem distribuída durante o ano, apenas no verão pode ocorrer déficit hídrico (Boldrini et al., 2010).

2. Metodologia de Trabalho

O presente estudo foi realizado utilizando 23 imagens de EVI e NDVI obtidos pelo sensor MODIS através do produto MOD13Q, para uma série de tempo de um ano (2011) (<ftp://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD13Q1.005/>). Estas imagens possuem resolução espacial de 250m, composição de imagens a cada 16 dias e representam a quantidade de radiação absorvida e refletida pela vegetação, o que está relacionado com a produtividade e potencial de atividade fotossintética (MODIS, 2012).

As imagens EVI e NDVI passaram por um pré-processamento no aplicativo *Modis Reprojection Tools* (MRT), que permite aos usuários ler arquivos em formato HDF-EOS, executar a transformação geográfica a um sistema diferente de coordenadas/projeção cartográfica e salvar arquivos HDF-EOS para outros formatos.

Posteriormente, as imagens foram importadas para o aplicativo SPRING 5.1 e efetuado o recorte de amostras das seguintes tipologias vegetais predominantes na APA: (i) campo prostrado (com predomínio de espécies de gramíneas prostradas), (ii) campo cespitoso (com presença de espécies de gramíneas cespitosas tipo touceiras), (iii) áreas dominadas pela invasora capim-annoni (*Eragrostis plana*), (iv) pastagem plantada, (v) lavoura de arroz e (iv) floresta (mata ciliar) (Figura 1).

A definição das áreas amostrais para cada tipologia vegetal teve base em fotografias e registros de trabalhos de campo realizados em maio de 2011 e março de 2012. Assim, selecionou-se de 5 a 6 áreas amostrais com variação entre 0,068 km² a 3 km² (1 a 50 pixels) e a partir destas amostrou-se os valores médios de EVI e NDVI nos produtos MODIS.

Ainda, no aplicativo Excel, para os valores médios de cada tipologia criou-se uma planilha de dados analisada por meio de medidas descritivas. Em seguida, para verificação da significância estatística da diferença entre a média amostral e a média populacional do conjunto de dados aplicou-se o teste z (Equação 1) (Callegari-Jacques, 2003). O valor médio anual e o desvio padrão calculado para os 23 valores de cada amostra representam os dados populacionais, e a média amostral foi coletada a cada 16 dias de acordo com as imagens MODIS.

$$Z_{calc} = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (1)$$

onde \bar{x} é a média amostral; μ é a média populacional; σ é o desvio padrão; n corresponde ao número total de amostras coletadas para cada tipologia.

Repetiu-se para cada amostra o teste z correlacionando a média populacional e o desvio padrão de uma tipologia vegetal com as médias amostrais coletadas a cada 16 dias para as demais tipologias.

3. Resultados e Discussão

A amplitude dos valores médios coletados a cada 16 dias para o EVI varia de 0,27 a 0,51 e para o NDVI de 0,47 a 0,80. De maneira geral, o EVI é mais sensível a variações estruturais observadas no infravermelho próximo (NIR), incluindo a dinâmica do dossel, tipo e arquitetura de copa, apresentando melhores resultados em estudos de áreas com cobertura vegetal densa (Haboudane et al., 2004). O EVI também foi projetado para reduzir a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel. O NDVI, desenvolvido para capturar mudanças em coberturas baixa e intermediária de vegetação, possui valores superiores ao EVI em função da existência de pontos de saturação nas faixas espectrais do vermelho e infra-vermelho próximo e interferência atmosférica, corrigidos para o EVI (Huete et al., 2002; Haboudane et al., 2004).

Os resultados mostram que, durante o verão e a primavera, há uma maior heterogeneidade espacial e maior potencial de produtividade das tipologias estudadas, enquanto no inverno e no outono, durante o período de senescência, pousio ou cultivo de pastagem de inverno, ocorre menor atividade biológica e aumento da homogeneidade no espaço.

A variação nos valores médios dos índices de vegetação durante o inverno e outono se destaca para o cultivo de arroz na análise dos dados de EVI nos meses de abril a junho, com decréscimo nos valores durante o período de colheita e posteriormente pousio ou uso para pastejo de gado durante o inverno (Figura 2A). Para o NDVI, também ocorre diminuição nos valores no inverno para a cultura de arroz. É possível observar aumento significativo nos valores de NDVI para a floresta de fevereiro a maio e de outubro a dezembro (Figura 2B).

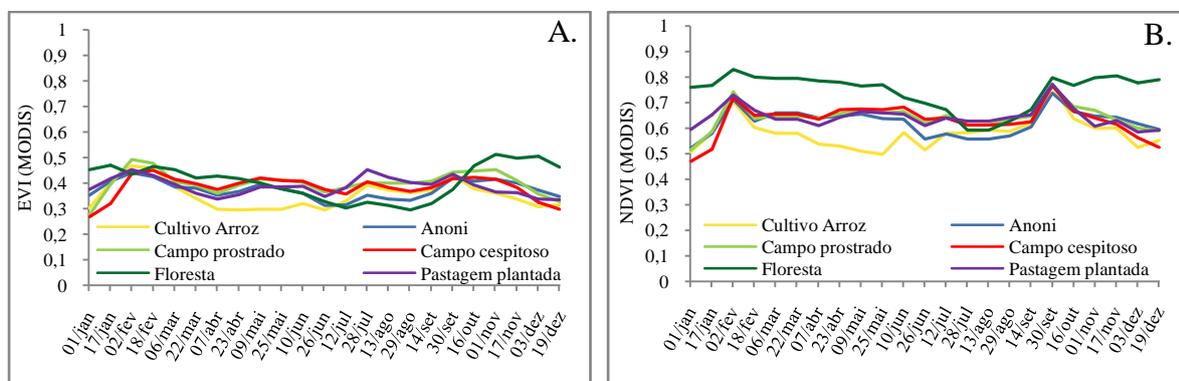


Figura 2. Valores médios dos dados de EVI e NDVI (MODIS - 16 dias) para o ano de 2011.

Entre as tipologias campestres, as amostras de campo prostrado, campo cespitoso, anoni e pastagem plantada possuem valores médios de EVI e NDVI diferentes (menores para EVI e maiores para NDVI). Entretanto, ambos os índices revelaram comportamento sazonal similar, dado a estrutura foliar e comportamento fenológico semelhante, observado durante o ano de 2011 (Tabela 1). Em função disto, para verificação de significância estatística da diferença entre as médias aplicou-se o teste z, o qual permitiu observar variação nos dados entre o EVI e NDVI. Os dados do teste z foram agrupados em porcentagens anuais por falta de espaço, mas no texto as diferenças sazonais são comentadas.

Em relação ao EVI para o cultivo de arroz observa-se diferença, estatisticamente significativa a 95% de confiança, para as demais tipologias analisadas durante o verão, início da primavera e parte do outono (maio). A principal cultura diferenciada é o campo cespitoso

em 91% do ano e a floresta 96%. Para as demais datas as médias possuem porcentagem de semelhança menor que 90% (Tabela 2).

Para o NDVI do mesmo cultivo, observou-se diferença entre as médias das demais tipologias durante a primavera e o outono. Para as tipologias campo prostrado, campo cespitoso, pastagem e floresta as médias diferem acima de 80% (Tabela 3). Durante o inverno, para as tipologias annoni, floresta e cultivo de arroz as médias são semelhantes.

Tabela 1. Valores médios anual, mínimos, máximos e desvio padrão de EVI e NDVI (do produto MOD13) para tipologias vegetais na APA de Ibirapuitã - 2011.

Tipologias vegetais	EVI				NDVI			
	Med. Anual	Min.	Máx.	D. P.	Med. Anual	Min.	Máx.	D. P.
Campo prostrado	0,40	0,28	0,48	0,05	0,64	0,51	0,74	0,05
Campo cespitoso	0,38	0,27	0,45	0,05	0,63	0,47	0,77	0,07
Annoni	0,37	0,35	0,44	0,03	0,62	0,52	0,74	0,05
Pastagem plantada	0,39	0,37	0,45	0,04	0,64	0,59	0,77	0,04
Cultivo de arroz	0,35	0,30	0,47	0,05	0,58	0,50	0,76	0,06
Floresta	0,41	0,34	0,45	0,07	0,75	0,59	0,83	0,07

O valor de média anual e desvio padrão do EVI para o annoni, em relação às demais tipologias, denota diferença significativa nas médias durante o verão e no início da primavera. As culturas que mais diferem da média anual do annoni são a floresta (91%), o campo prostrado (87%), o cultivo de arroz (83%) e o campo cespitoso (74%). Referente ao NDVI, as médias diferem de modo semelhante aos valores de EVI, e também durante parte do outono (abril a junho). Acima de 80% e 90%, a média anual do annoni é diferente significativamente do cultivo de arroz e da floresta em todo o ano (Tabela 3).

Tabela 2. Valores percentuais da diferença entre a média anual e a média de 16 dias (MOD 13) do teste z (95% de significância) para o EVI em amostras de tipologias vegetais na APA de Ibirapuitã - 2011.

Média Anual \ Média (MODIS)	Campo prostrado (%)	Campo cespitoso (%)	Annoni (%)	Pastagem plantada (%)	Cultivo de Arroz (%)	Floresta (%)
Campo prostrado	48	48	70	61	91	87
Campo cespitoso	74	65	65	65	78	83
Annoni	87	74	74	65	83	91
Pastagem plantada	74	70	78	65	87	87
Cultivo de arroz	87	91	57	65	74	96
Floresta	43	43	61	48	83	78

A média anual e o desvio padrão do EVI (Tabela 1) para campo prostrado difere das demais culturas durante o verão e início do inverno (junho a julho). Semelhante a média anual do NDVI do annoni, acima de 90% e 80% ocorre diferença entre as médias para o cultivo de arroz e floresta em toda a série analisada (Tabela 2).

Com relação ao NDVI denota-se diferença entre as médias no verão, no começo (setembro a outubro) e final da primavera (dezembro) para todas as culturas. No inverno (julho a agosto) as médias não diferem somente para a pastagem plantada, justamente por esta ser introduzida para o pastoreio dos animais neste período e apresentar maior vigor

vegetativo. Também, para o cultivo de arroz e para a floresta, acima de 90% e 80% as médias diferem durante todo o ano.

Para os dados de EVI de campo cespitoso ocorre diferença das demais tipologias durante a primavera até o final do verão quando as médias tornam-se semelhantes, fator que pode estar condicionado ao período de estiagem nos municípios que compõem a APA. A média dos valores acumulados da precipitação pluvial para janeiro nos municípios de Alegrete e Santana do Livramento é de 119mm, mas ano de 2011 o acumulado no município de Santana do Livramento (compõem maior parte da APA - 57%) foi de 62mm (INMET, 2011; FEPAGRO, 2012).

A média anual e desvio (Tabela 1) para o NDVI apresentou diferença significativa no verão e início da primavera para todas as tipologias. No final do outono e começo do inverno (maio a junho) as médias não diferem somente para o annoni. Para as tipologias cultivo de arroz e floresta, acima de 90% as médias são significativamente diferentes.

Tabela 3. Valores percentuais da diferença entre a média anual e a média de 16 dias (MOD 13) do teste z (95% de significância) para o NDVI em amostras de tipologias vegetais na APA de Ibirapuitã - 2011.

Média Anual \ Média (MODIS)	Campo prostrado (%)	Campo cespitoso (%)	Annoni (%)	Pastagem plantada (%)	Cultivo de Arroz (%)	Floresta (%)
Campo prostrado	57	65	57	48	96	96
Campo cespitoso	48	48	57	43	91	96
Annoni	70	61	70	52	87	96
Pastagem plantada	61	70	61	48	96	96
Cultivo de arroz	87	96	65	87	52	91
Floresta	91	91	96	91	96	74

A média anual e desvio padrão dos valores de EVI para a floresta difere das demais tipologias no final da primavera e início do verão. Acima de 80% ocorre diferença entre as médias em todo o ano para o cultivo de arroz. No entanto, para o NDVI a amostra de floresta, apresentou diferença entre as médias, acima de 90% para todas as tipologias em todo o ano de 2011 (Tabela 3).

A média anual e desvio para a pastagem plantada (Tabela 1), difere da floresta e do cultivo de arroz acima de 80% durante todo o ano. Principalmente durante o outono é possível observar semelhança entre a média anual da pastagem plantada para as demais tipologias. Acredita-se que essa semelhança está condicionada ao início do plantio e aumento do vigor vegetativo da pastagem de inverno na APA.

Para os dados de NDVI para a tipologia pastagem plantada, observou-se diferença entre as médias das demais tipologias no início da primavera e durante o verão. Este dado, possivelmente está associado ao plantio da pastagem que ocorre durante as estações frias do ano e serve de alimento para os animais ou como cobertura de solo durante o período de pousio. Dessa maneira, valores maiores de NDVI para a pastagem são encontrados no outono e inverno, enquanto as tipologias campestres (campo prostrado, campo cespitoso e annoni) estão em senescência.

4. Conclusões

1. Ocorrem diferenças significativas estatisticamente entre as médias anuais e quinzenais (16 dias) do EVI e NDVI das tipologias estudadas, principalmente no verão e início da primavera, período de crescimento e ganho de massa foliar das espécies.

2. Durante o outono e inverno, as tipologias apresentam um comportamento sazonal semelhante, já que estão no mesmo estado fenológico, em período de senescência. Exceção foi encontrada para as amostras de pastagem plantada, que está em fase produtiva justamente nesta época do ano.
3. Apesar das diferenças intra-anuais encontradas, não foram observados padrões típicos para cada tipologia que permitam suas discriminações através de séries temporais.
4. Os valores de NDVI demonstraram uma maior sensibilidade às variações fenológicas intra-anuais das tipologias vegetais consideradas. Já o EVI demonstrou reduzir o intervalo de variação fenológica intra-anual das tipologias vegetais consideradas, sendo menos indicado para estudos deste tipo.

Agradecimentos

AM agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - Brasil, pela concessão da Bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial.

Referências Bibliográficas

- Boldrini, I.I.; Ferreira, P.M.A.; Andrade, B.O.; Schneider, A.A.; Setubal, R.B.; Trevisan, R.; Freitas, E.M. **Bioma Pampa: diversidade florística e fisionômica**. Porto Alegre: Pallotti, 2010. 64 p.
- Callegari-Jacques, S.M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255 p.
- Costa, B.S.C. **Análise da dinâmica de vegetação campestre em série temporal de índice de vegetação e dados meteorológicos**. 2009. 51 p. Monografia (Especialização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Santa Maria. 2008.
- Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO). Disponível em: <http://www.r3pb.com.br/atlas/Atlas_Climatico_do_Rio_Grande_do_Sul/Atlas.html>. Acesso em: 12.set. 2012.
- Freitas, R.M.; Arai, E.; Adami, M.; Ferreira, A.S.; Sato, F.Y.; Shimabukuro, Y.E.; Rosa, R.R.; Anderson, L.O.; Rudorff, B.F. T. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v. 2, p.57-68, 2011.
- Haboudane, D.; Miller, J.R.; Pattey, E.; Zarco-Tejada, P.J.; Strachan, I.B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 337-352, 2004.
- Hasenack, H.; Weber, E. Base Cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - Escala 1:50.000. **CD-Rom**, 2010.
- Hasenack, H.; Weber, E.; Boldrini, I.I.; Trevisan, R. **Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das savanas uruguaias em escala 1:500.000 ou superior e relatório técnico descrevendo insumos utilizados e metodologia de elaboração do mapa de sistemas ecológicos**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Centro de Ecologia/The Nature Conservancy, 2010. 22 p.
- Huete, A.R.; 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.
- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 15.set.2012.
- Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros**. Brasília: MMA/SBF, 2002. 404 p. Disponível em: <http://www.biodiversidade.rs.gov.br/arquivos/BiodiversidadeBrasileira_MMA.pdf>. Acesso em: 22.ago.2012.

Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Disponível em:
<<ftp://e4ftl01.cr.usgs.gov/MOLT/MOD13Q1.005/>>. Acesso em: 10.mar.2012.

Overbeck, G.E.; Müller, S.C.; Fidelis, A.; Pfadenhauer, J.; Pillar, V.D.; Blanco, C.C.; Boldrini, I.I.; Both, R.; Forneck, E.D. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Science Direct**, v. 9, p. 101-116, 2007.

Peel, M.C.; Finlayson, B.L.; McMahon, T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology Earth System**, v. 11, p. 1633–1644, 2007.

Pillar, V.D.; Müller, S.C.; Castilhos, Z.; Jacques, A.V.A. (Org.). **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 403 p.

Rosemback, R.; Ferreira, N.J.; Shimabukuro, Y.E.; Conforte, J.C. Análise da dinâmica da cobertura vegetal na região sul do Brasil a partir de dados MODIS/TERRA. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 2, p.401-4016, 2010.