

Relação entre biomassa aérea vegetal e NDVI no bioma Pampa

Betania Bonada Caña¹
Carline Biasoli Trentin¹
Eliana Lima da Fonseca¹

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Caixa Postal 15044 – 91.501-970- Porto Alegre - RS, Brasil
{betania.bonada, eliana.fonseca}@ufrgs.br; cbtrentin@yahoo.com.br

Abstract. The use of vegetation indices as biomass indicators identify the variation of temporal/spectral behavior of vegetation, assisting in monitoring and conservation of ecosystems. We analyze the relationship between the availability of aerial biomass of vegetation natural countryside with the spectral response detected by the MODIS sensor inside the EPA (Environmental Protection Area) of Ibirapuitã in the Pampa biome, in the period between August 2001 and December 2003. We used aerial biomass of vegetation data measured on a monthly basis in field and NDVI images of the product MOD 13-EOSMODIS in the same period. The relationship between the biomass of vegetation and the NDVI was obtained by analyses of correlation and regression, observing the dispersion between the two variables. For the relationship between the availability of aerial biomass of vegetation and the NDVI was found a correlation coefficient of $r = 0.70$, significant $\alpha = 1\%$. The spread between the NDVI values and aerial biomass of vegetation, demonstrated the existence of a non-linear relationship, being that the NDVI increased with increasing biomass, checked whether a saturation value in this regard from 0.65 to NDVI. The determination coefficient was $R^2 = 0.49$, significant for $\alpha = 1\%$, with 49% of the variation observed for the NDVI is explained by the variation in the amount of air biomass of vegetation in different periods of the year. Country natural vegetation of the Pampa biome has seasonal well defined behavior, with growing period of the species in the hot months of the year.

Palavras-chave: equation, spectral response, natural grassland, equação, resposta espectral, vegetação campestre natural.

1. Introdução

O bioma Pampa tem uma área de aproximadamente 700.000 km² e está localizado na Argentina, Brasil e Uruguai. Possui uma vegetação caracterizada por plantas herbáceas do tipo C₃ e C₄ (em maior número de espécies) adaptadas à transição do clima subtropical para o temperado. De relevo plano a ondulado, apresenta como principal atividade econômica a pecuária extensiva, compatível com a conservação do ambiente (Benedetti et al., 2011; Boldrini, 2009 e Overbeck et al., 2007).

No Brasil este bioma está presente na metade sul do Rio Grande do Sul, e sua área original equivalia a 64% do território. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, nos últimos 30 anos a cobertura vegetal original foi reduzida em 54% pelas atividades agrícolas e florestais (principalmente a indústria da celulose). Estas atividades são responsáveis pela perda da biodiversidade devido à substituição dos campos naturais por outros tipos de culturas (MMA, 2012).

A conservação e a manutenção deste bioma são temas de relevante importância para os estudos atuais, tornando cada vez mais necessário o conhecimento da dinâmica e o estado de conservação da vegetação campestre natural (Bencke, 2009). Por este motivo o monitoramento da biomassa ao longo do tempo fornece informações importantes sobre a estabilidade do ecossistema (Jensen, 2009).

Estudos têm sido realizados com objetivo de monitorar a biomassa aérea da vegetação utilizando imagens de satélite, e apontam a utilização do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) como um indicador de biomassa. A partir da alteração nos valores de NDVI

e das variações no comportamento temporal/espectral da vegetação é possível verificar uma diminuição na biomassa e detectar mudanças na fenologia da vegetação (Batista et al., 1997).

Ao estudar a relação entre a produção de biomassa da vegetação campestre natural e o NDVI Paruelo et al., (2000), verificaram dois fatores de variabilidade entre os dados: a sazonalidade e as diferenças locais da vegetação. Por outro lado, Fonseca et al. (2007) testaram a capacidade de diferentes variáveis espectrais obtidas do sensor ETM+/Landsat 7 para calcular a disponibilidade de forragem em diferentes fases do ciclo fenológico da vegetação campestre natural, constatando uma boa relação entre estas duas variáveis.

Oliveira (2009) afirma que estudos sobre biomassa aérea da vegetação campestre natural apresentam-se escassos na literatura e explica que há grande necessidade de pesquisas que envolvam produtividade de biomassa, pois estes estudos servem como referencial para a manutenção/conservação e o entendimento da dinâmica do bioma pampa, o que justifica a importância do monitoramento da produção de biomassa acima do solo através de sensores remotos (Fonseca et al., 2011).

Benedetti et al., (2011), destacam que os índices de vegetação mostram-se mais eficientes para o monitoramento da cobertura vegetal. Dessa forma, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) obtido do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), permite a realização de estudos, ao longo do tempo e do espaço, sobre as condições da cobertura vegetal.

O NDVI é um indicador da densidade de biomassa verde e está relacionado com parâmetros de crescimento e desenvolvimento das plantas. É calculado pela diferença de reflectância entre as bandas do infravermelho próximo (ρ_{nir}) e vermelho (ρ_{red}) dividida pela soma destas mesmas bandas (Equação 1), resultando em um valor no intervalo de -1 a $+1$, sendo que altos valores do índice indicam maior presença de vegetação (Jensen, 2009).

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

O sensor MODIS tem como principal característica a ampla cobertura espacial e espectral, sendo um importante instrumento para o monitoramento da vegetação. Os dados NDVI do sensor MODIS são disponibilizados como um mosaico de *pixels* de maior valor, por um período de 16 dias (23 composições anuais), possuindo resolução radiométrica de 12 bits e resolução espacial de 250 metros, o que facilita a análise da vegetação, porque minimiza o problema de cobertura de nuvens e ruídos (NASA, 2012).

O objetivo deste estudo é analisar a relação existente entre a disponibilidade de biomassa aérea da vegetação campestre natural e a resposta espectral representada pelo NDVI do sensor MODIS na Área de Proteção Ambiental do Ibirapuitã, no período compreendido entre agosto de 2001 e dezembro de 2003.

O trabalho foi desenvolvido na Área de Proteção Ambiental (APA) do Ibirapuitã (Figura 1), única Unidade de Conservação Federal do bioma Pampa no Brasil, homologada em maio de 1992 e administrada pelo ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). Localiza-se na porção sul-sudoeste do estado do Rio Grande do Sul, possui 318.000 hectares e está inserida dentro dos Municípios de Alegrete, Quaraí, Rosário do Sul e Santana do Livramento (ICMBio, 2012).

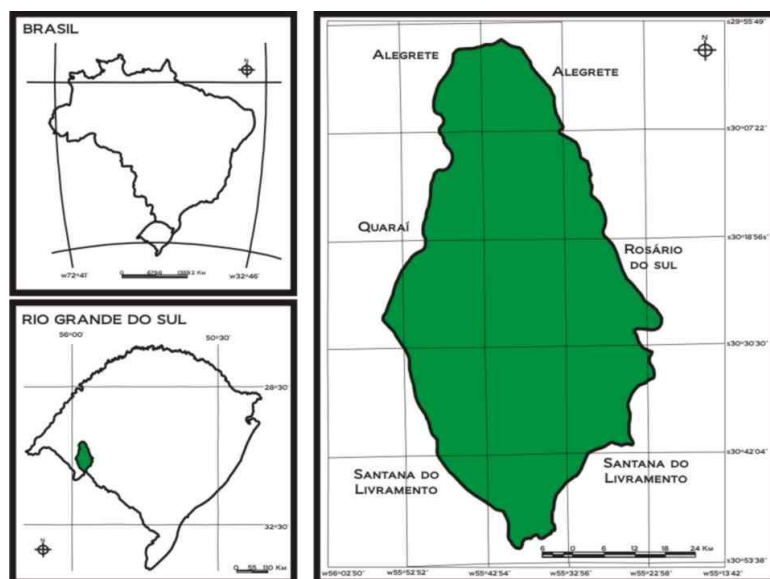


Figura 1. Localização da Área de Proteção Ambiental do Ibirapuitã/RS.

2. Metodologia de Trabalho

A coleta da biomassa aérea da vegetação campestre natural em campo, foi realizada mensalmente no período compreendido entre agosto de 2001 e dezembro de 2003, na Estância do 28 (pertencente à Fundação Maronna) no município de Alegrete/RS, porção norte da APA do Ibirapuitã. Foram escolhidas duas áreas em função de existirem variações de relevo que condicionam o tipo de solo e, em consequência, o tipo de formação vegetal (Silveira et al., 2005; Boldrini, 1997; Fonseca et al., 2006), com coordenadas geográficas centrais: S 30°05'53.87" / W 55°41'10.70" e S 30°06'20.98" / W 55°40'41.90".

A disponibilidade de biomassa aérea da vegetação campestre natural foi estimada realizando-se o corte da forragem rente ao solo (com coleta total do material), num quadrado de 0,25m² e em pontos aleatórios dentro das duas áreas definidas, utilizando-se uma tesoura de cortar grama. Não houve separação do material morto e a biomassa verde (Silveira et al., 2005). Nestas duas áreas foram coletadas três amostras por data e realizada a média de biomassa da vegetação.

Foram utilizadas 29 imagens de NDVI do produto MOD 13 (sensor MODIS), sendo que cada imagem corresponde ao mesmo período de coleta de dados em campo. As imagens de NDVI foram importadas para um banco de dados geográfico no *software* SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), versão 5.1.8 disponibilizado pela Divisão de Processamento de Imagens / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (DPI / INPE).

Os valores de NDVI foram obtidos através da média de três *pixels* inseridos nas áreas amostrais, em cada uma das duas áreas nos diferentes tipos de solo. Para a extração automática dos valores de NDVI de cada uma das amostras, utilizou-se o módulo “extração de estatísticas de imagem por polígono” disponível no *software* SPRING. Posteriormente, os valores de biomassa e NDVI foram exportados para um aplicativo de planilha eletrônica.

A partir dos dados tabulados de NDVI e biomassa da vegetação foi gerado um gráfico para verificar a dispersão entre os valores de NDVI e biomassa aérea da vegetação. Além disso, foram realizadas as análises de correlação e regressão, verificando a relação existente entre estes dois conjuntos de dados.

3. Resultados e Discussão

Nos dados coletados em campo foram verificados valores distintos de biomassa aérea da vegetação nos diferentes períodos do ano, com maiores valores na primavera e verão e menor biomassa da vegetação no período do outono e inverno (Figura 2a). De acordo com Machado (1999), a vegetação campestre natural apresenta como estação de crescimento o período que começa na primavera e vai até o outono, período com maior disponibilidade de radiação. No bioma Pampa ocorre o predomínio de espécies de gramíneas C_4 , o que explica a maior produção de biomassa nas estações quentes do ano, visto que essas espécies exigem temperaturas mais altas para o seu desenvolvimento (Gomes, 1996).

Os valores de NDVI da vegetação campestre, em geral, apresentaram comportamento semelhante aos dados de biomassa aérea coletados em campo, sendo característico para este tipo de vegetação (Figura 2b). Geralmente, nos meses frios ocorre uma diminuição do NDVI em função da senescência da maioria das espécies que formam o campo nativo. Na estação quente percebe-se um aumento do NDVI devido ao crescimento da vegetação, que corresponde ao aumento do fotoperíodo e da temperatura (Rizzi e Fonseca, 2001).

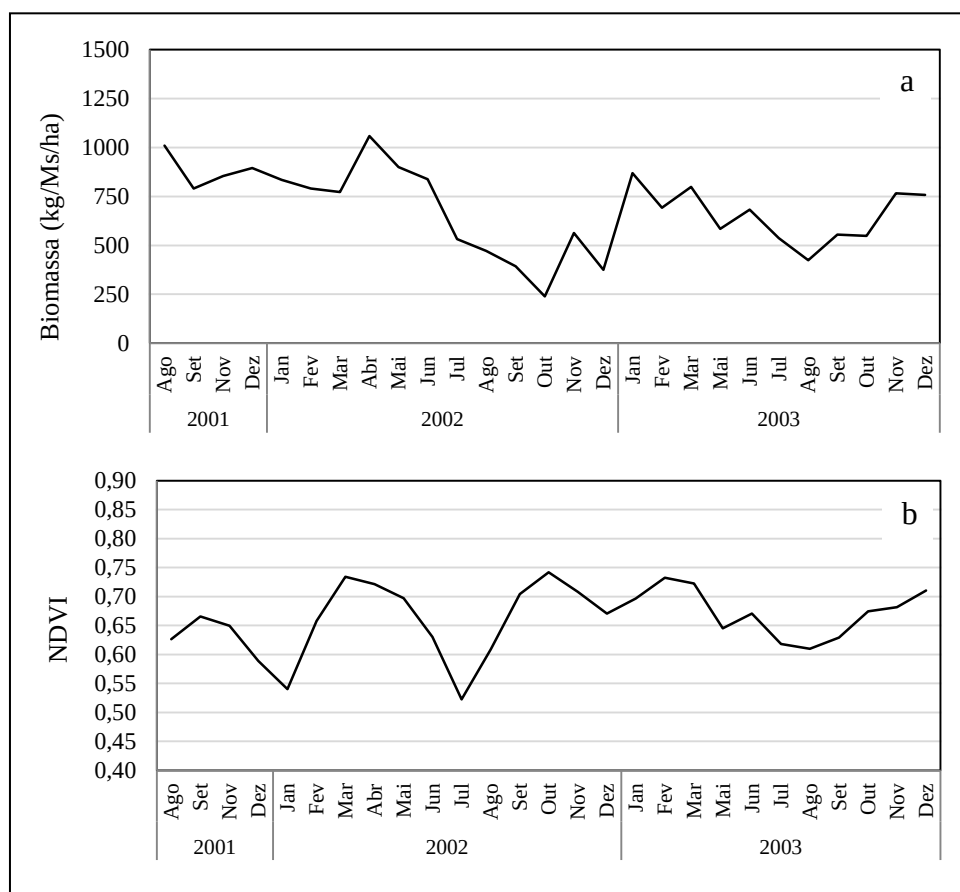


Figura 2. Variação mensal da biomassa aérea da vegetação (a) e do NDVI (b) no bioma Pampa no período de estudo.

A variação observada nos valores de NDVI foi entre 0,5115 (inverno) e 0,7801 (verão). Estas variações da resposta espectral são explicadas pela associação entre as bandas do vermelho e do infravermelho próximo, sendo que os maiores valores de NDVI são encontrados quando a vegetação apresenta baixa reflectância na banda espectral do vermelho e maior relectância na banda do infravermelho próximo. Porém, quando o pico de reflectância é deslocado para a banda do vermelho, em função da degradação da clorofila e, a reflectância no infravermelho próximo diminui devido à degeneração das membranas celulares do

mesófilo durante a senescência, ocorre uma diminuição nos valores de NDVI (Fonseca et al., 2007).

As diferenças encontradas entre o NDVI e a biomassa aérea da vegetação medida em campo, podem ocorrer pelo fato de que os valores de NDVI também podem ser alterados em função dos elementos do clima (Wang et al., 2003). Para o período entre novembro de 2001 e janeiro de 2002 e no mês de outubro de 2002, foi verificado um comportamento oposto entre estas duas variáveis, explicado devido ao déficit hídrico ocorrido na região no período entre novembro/2001 e janeiro/2002 (INMET, 2012), resultando em uma diminuição nos valores de NDVI, e um aumento no valor do NDVI em função da precipitação acima da média para o mês de outubro/2002.

Para a relação entre a disponibilidade de biomassa aérea da vegetação campestre com a resposta espectral detectada pelo satélite foi encontrado um coeficiente de correlação de $r = 0,70$, significativo para $\alpha = 1\%$. Para esta mesma área de estudo Fonseca et al. (2011), encontraram um coeficiente de correlação de $r = 0,517$, quando relacionada a biomassa aérea da vegetação e o NDVI resultante do sensor *Vegetation/SPOT*.

A Figura 3 apresenta a dispersão entre os valores de NDVI e a disponibilidade de biomassa aérea da vegetação campestre natural e demonstra a existência de uma relação não linear entre os mesmos, já esperado para esse tipo de vegetação (Fonseca et al., 2011). A distribuição dos pontos no gráfico apresentou uma função crescente e uma tendência linear, mostrando que o NDVI aumentou com o incremento da biomassa, verificando-se um valor de saturação na relação entre o NDVI e o máximo acúmulo de biomassa da vegetação a partir de um valor de 0,65 de NDVI, sendo que a partir desse valor a curva de variação estabiliza até um valor máximo de 0,80 de NDVI. Sabe-se que o NDVI atinge a saturação em condições de média a alta quantidade de biomassa da vegetação (Sellers, 1989).

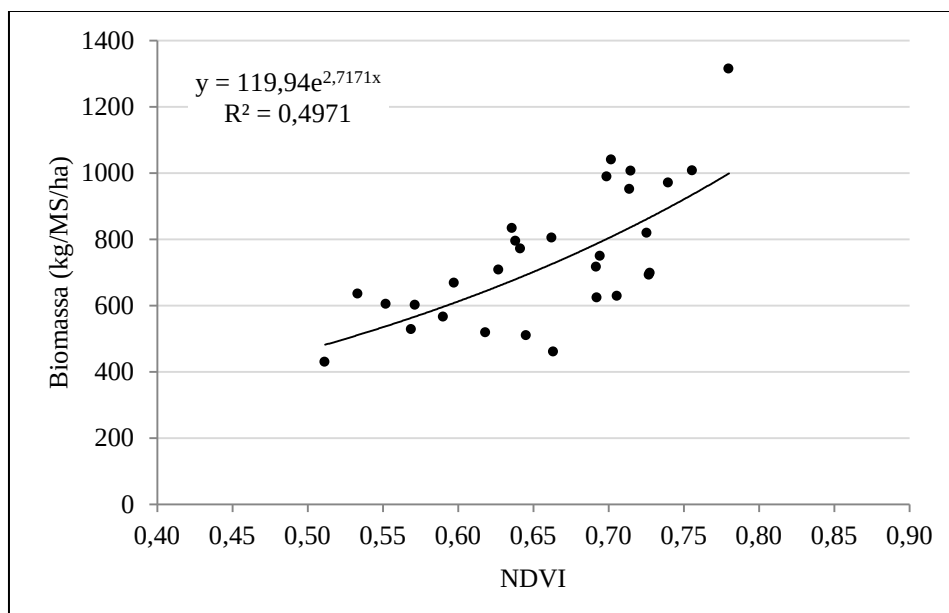


Figura 3. Gráfico de dispersão e análise de regressão demonstrando a relação entre a disponibilidade de biomassa aérea da vegetação campestre natural medida em campo e o NDVI do sensor Modis no bioma Pampa.

O coeficiente de determinação informa a proporção da variabilidade do NDVI que é explicada estatisticamente pela biomassa aérea da vegetação medida em campo (Callegari-Jacques, 2003). No modelo apresentado, o coeficiente de determinação foi de $R^2 = 0,49$, significativo para $\alpha = 1\%$. Desta forma, 49% da variação observada para o NDVI é explicada

pelo fato de que a quantidade de biomassa aérea da vegetação também varia nos diferentes períodos do ano, sendo observada uma relação de dependência entre essas duas variáveis.

4. Conclusões

Foi identificada uma relação existente entre a disponibilidade de biomassa aérea da vegetação campestre natural e o NDVI do sensor MODIS, demonstrando que o aumento no valor do NDVI é proporcional à quantidade de biomassa medida em campo, até um valor de saturação de 0,65 de NDVI. Verificou-se que a vegetação campestre natural do bioma Pampa possui comportamento sazonal bem definido, com período de crescimento das espécies nos meses quentes do ano (primavera e verão).

5. Referências Bibliográficas

Batista, G. T.; Shimabukuro, Y. E.; Lawrence, W. T. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n. 15, p. 3195-3210 1997.

Bencke, G. A. Diversidade e conservação da fauna dos Campos do Sul do Brasil. In: Pillar, V. D.; Muller, S. C.; Castilhos, Z. M. S.; Jacques, A. V. A. (Org.). **Campos Sulinos: Conservação e Uso Sustentável da Biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. cap. 7, p. 101-121.

Benedetti, A. C. P. et al. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do sensor Modis: aplicações para estudos de uso e cobertura da terra na Metade Sul do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 6144-6151. On-line. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1236.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2012.

Boldrini, I.I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: Pillar, V. D.; Muller, S. C.; Castilhos, Z. M. S.; Jacques, A. V. A. (Org.). **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009. cap. 4, p. 63-77.

Boldrini, I.I. Campos do Rio Grande do Sul, caracterização fisionômica e problemática ocupacional. **Boletim do Instituto de Biociências**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1997. 39 p.

Callegari-Jacques, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

Fonseca, E. L.; Formaggio, A.R.; Ponzoni, F. J. Estimativa da disponibilidade de forragem do bioma Campos Sulinos a partir de dados radiométricos orbitais: parametrização do submodelo espectral. **Ciência Rural**, v. 37, p. 1668-1674, 2007.

Fonseca, E. L.; Silveira, V. C. P.; Salomoni, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da vegetação campestre natural no bioma Campos Sulinos do Brasil. **Ciência Rural**, v.36, n. 2, p.656-659, 2006.

Fonseca et al. Quantificação de biomassa acima do solo para Pradarias naturais no bioma dos Pampas. In: Maathuis, B. H. P.; Mannaerts, C. M. (Org.). GEONETCast – DevCoCast: Manual de Aplicações. Enschede: Faculty ITC, 2011. cap. 2, p. 35-46.

Gamon, J.A. Relationships between NDVI, canopy structure and photosynthesis in three Californian vegetation types. **Ecological Applications**, v.5, n. 1, p. 28-41, 1995.

Gomes, K.E. Dinâmica e produtividade de uma pastagem natural do Rio Grande do Sul após seis anos de aplicação de adubos, diferimentos e níveis de oferta de forragem. 1996. 225p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1996.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 20 out. 2012.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/biodiversidade/unidades-de-conservacao/biomas-brasileiros/pampa>>. Acesso em: 05 out. 2012.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Machado, L.A.Z. **Manejo da pastagem nativa**. Guaíba: Agropecuária, 1999. 158p.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/>>. Acesso em: 05 out. 2012.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). Disponível em: < www.nasa.gov/>. Acesso em: 05 out. 2012.

Oliveira, M.S. et al. Avaliação da biomassa aérea e subterrânea dos campos sulinos. In: Congresso de Ecologia do Brasil (SEB), 09, 2009, São Lourenço. **Anais...** Artigos, p. 1-3. On-line. Disponível em: <http://www.seb-ecologia.org.br/2009/resumos_ixceb/1832.pdf>. Acesso em: 17 set. 2012.

Overbeck, G. E. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v.9, n. 1, p. 101-116, 2007.

Paruelo, J. M., et. al. Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. **Applied Vegetation Science**, v. 3, p. 189-195, 2000.

Rizzi, R.; Fonseca E. L. da. Análise da variação espacial e temporal do NDVI no Estado do Rio Grande do Sul através de imagens AVHRR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. Artigos, p. 1735-1737. On-line. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/09.24.10.32/doc/1735.1737.293.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2012.

Sellers, P. J. Vegetation-canopy spectral reflectance and biophysical processes. In: Asrar, G. (Org.). **Theory and applications of optical remote sensing**. New York: J. Wiley, 1989. cap.8, p.297-335.

Silveira, V.C.P. et al. Qualidade da pastagem nativa obtida por diferentes métodos de amostragem e em diferentes solos na APA do Ibirapuitã, Brasil. **Ciência Rural**, v.35, n.3, p.582-588, 2005.

Wang, J.; Price, K. P.; Rich, P. M. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.11, p.2345-2364, 2003.