

## Variabilidade Temporal do NDVI/MODIS na Análise de Remanescentes da Ecorregião das Savanas Uruguaias

Ana Paula Luz Wagner<sup>1</sup>

Eliseu Weber<sup>2</sup>

Heinrich Hasenack<sup>2</sup>

Eliana Veleda Klering<sup>3</sup>

Denise Cybis Fontana<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Caixa Postal 15.007 - 91501-970 - Porto Alegre – RS, Brasil  
ana.wagner@ufrgs.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de Biociências - Centro de Ecologia

Av. Bento Gonçalves, 9500 - Prédio 43411 Sala 104 - Caixa Postal 15.007 CEP 91501-970 - Porto Alegre - RS  
eweber@portoweb.com.br  
hhasenack@ufrgs.br

<sup>3</sup>Faculdade de Agronomia – Departamento de Agrometeorologia e Plantas Forrageiras

Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal. 15100. Porto Alegre, RS, Brasil  
dfontana@ufrgs.br  
elianaklering@yahoo.com.br

**Abstract.** The study on temporal trends of NDVI seems to indicate how ecosystems respond to climate and management. This work studies the temporal evolution of NDVI in the Brazilian State Rio Grande do Sul and in Uruguay, a natural grassland region, to support the mapping of remaining natural vegetation. The analyzed time series has 205 MODIS NDVI images of the period from 2000 to 2009. The results show a decreasing tendency in the mean NDVI value in the region. The analysis of La Niña occurrence of the same period showed that it influenced this tendency, since it caused recurrent drought events. A pixel to pixel trend analysis showed a tendency of higher decrease in areas covered by natural vegetation while agricultural areas remained stable, and recent silviculture areas showed an increase tendency of NDVI. The reduction of NDVI may reflect human and climatic negative influence on biomass, with effects on the grassland ecosystem of the region. The study, using time series of vegetation index, shows the possibilities for analysis of temporal and spatial relationships that are established between NDVI and climatic factors, providing a great tool to expand the discussion of the effects of climate change on biomes and allow for greater efficiency in environmental planning.

**Palavras-chave:** NDVI/MODIS, variabilidade temporal, La Niña, pampa, Savanas Uruguaias, NDVI/MODIS, temporal trend, La Niña, pampa, Uruguayan Savannas.

### 1. Introdução

Ecorregiões são conjuntos de comunidades naturais geograficamente distintas que compartilham a grande maioria de suas espécies, dinâmica ecológica, e condições ambientais similares e que cujas interações ecológicas são essenciais para a sua persistência a longo prazo. (Dinerstein *et al.*, 1995).

Dentre as ecorregiões da América do Sul, destaca-se a das Savanas Uruguaias, que abrange a República Oriental do Uruguai e a porção meridional do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Cobertos por vegetação predominantemente campestre, estes campos do extremo sul do continente americano são conhecidos como “pampa”, palavra de origem quíchua que significa “plano”. A grande heterogeneidade na paisagem do pampa permite encontrar formações diversas como campo, florestas e áreas úmidas (banhados), formando um sistema genuíno desta região do planeta. O avanço da agricultura iniciado a partir da colonização européia no final do século XIX acentuou a sua destruição e descaracterização, processo que se acelerou com a forte expansão agrícola da década de 70 e, recentemente, pela conversão de

extensas áreas campestres em florestas cultivadas de pinheiros (*Pinus* sp.), acácias e eucaliptos. Além disso, historicamente, a conservação da biodiversidade tem sido negligenciada nesta ecorregião (Pongiluppi *et al.*, 2008).

Neste contexto, a análise, a caracterização e o mapeamento das Savanas Uruguaias tornam-se importantes no sentido de conhecer a distribuição espacial das formações vegetais que a compõem, bem como as alterações que vem ocorrendo ao longo do tempo. As imagens de satélite representam importante fonte de informação para este propósito. Entre as alternativas disponíveis, o sensor de baixa resolução Terra/MODIS tem sido largamente empregado para o desenvolvimento de métodos voltados ao mapeamento de áreas extensas (Friedl *et al.*, 2002; Fontana *et al.*, 2007; Rudorff *et al.*, 2007, Klering, 2007; Junges, 2008). Dentre os produtos MODIS, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*), que possibilita o monitoramento da vegetação por indicar uma associação direta entre sua magnitude e as condições da biomassa (Huete *et al.*, 2002).

Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento temporal da biomassa na ecorregião das Savanas Uruguaias com base na série disponível de imagens de NDVI/MODIS. A pesquisa faz parte de um projeto maior intitulado “Atualização do Mapa de Sistemas Ecológicos e Mapeamento de Remanescentes das Savanas Uruguaias”.

## 2. Material e Métodos

No estudo da variabilidade temporal do NDVI foi utilizada toda a coleção de imagens disponíveis do produto NDVI do sensor MODIS de 18 de fevereiro de 2000 a 16 de janeiro de 2009, obtidas gratuitamente na versão mais atualizada (V005) através de *download* no banco de dados da NASA/WIST (*Warehouse Inventory Search Tool*).

Para cobrir a área de estudo foram necessárias duas cenas para cada data, em duas datas por mês. Cada ano da série estudada, exceto 2009, possui 48 imagens brutas, totalizando 410 imagens ou arquivos de dados. Para cada data, foi elaborado um mosaico das duas cenas, e posterior feito o recorte de um retângulo que abrange a área de interesse.

A série temporal de NDVI foi processada no programa Idrisi Taiga (Clark Labs ©) com o módulo ETM (*Earth Trends Modeler*), o qual permite a análise de séries temporais de imagens e inclui um conjunto coordenado de ferramentas para a extração de tendências e os determinantes da variabilidade, informações importantes para o estudo das alterações climáticas e da dinâmica de ecossistemas. Foram analisados os dados de conjunto e coletadas 23 amostras para cada área correspondente a duas regiões geomorfológicas do Estado do Rio Grande do Sul: Planalto da Campanha e a Depressão Central Gaúcha (IBGE, 1986). A primeira região conserva mais áreas remanescentes naturais e semi-naturais de vegetação campestre. Já na segunda predominam áreas de uso antrópico.

Os resultados foram então estruturados de modo a serem analisados através das médias de NDVI ao longo do período. Foram geradas as médias de cada data para toda a área de estudo, compreendendo toda a variabilidade florística, e para cada região geomorfológica. Também foram ajustadas funções à série de médias das três áreas.

A fim de avaliar a relação entre os valores do NDVI ao longo da série e a variabilidade climática, os dados foram comparados qualitativamente com a ocorrência dos fenômenos El Niño e La Niña para o mesmo período da série de NDVI. A Figura 1 indica estas ocorrências, onde valores positivos maiores que 0,4 apontam a ocorrência do fenômeno El Niño e inversamente valores inferiores a -0,4 apontam a ocorrência de La Niña.

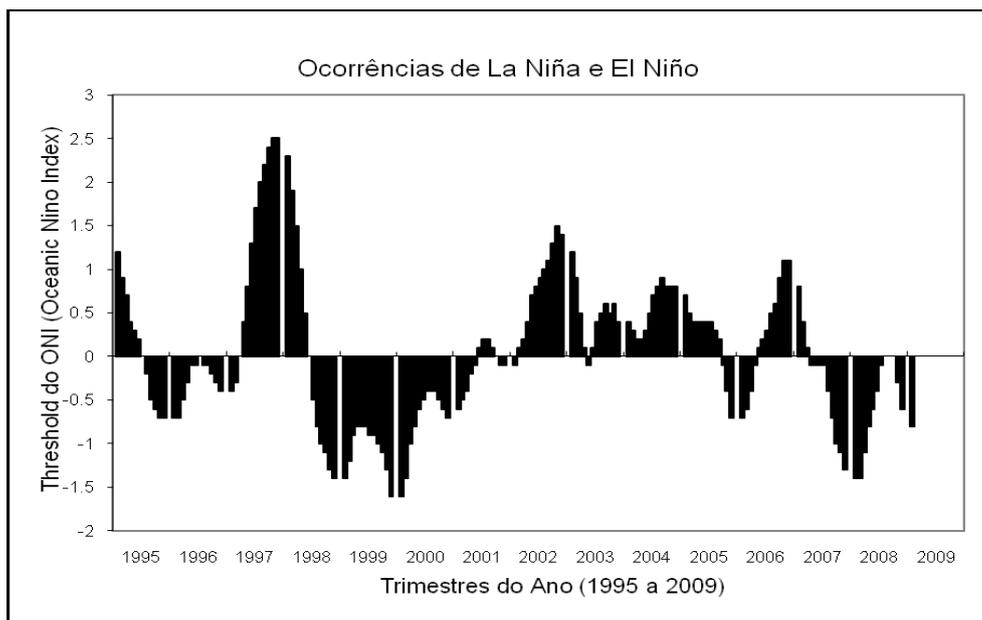


Figura 1. *Threshold* do *Oceanic Niño Index* para os anos de 1995 a 2009 (análises trimestrais). Valores negativos e menores que -0.4 indicam eventos de La Niña. (Fonte: NOAA).

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 2 mostra a tendência do NDVI ao longo do ano. Os pontos do gráfico indicam o valor médio de NDVI em cada período de 16 dias da série (2000 a 2009). É possível observar uma tendência oscilatória dos valores de NDVI, explicada principalmente pelas características climáticas da região, cujas estações do ano são bem definidas. Deste modo, os maiores valores de NDVI são observados nos meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e os menores valores durante os meses de inverno. A grande variabilidade do NDVI médio em cada período também se deve aos efeitos climáticos, neste caso, associados a estações mais chuvosas (El Niño) ou mais secas (La Niña). Durante a primavera (setembro, outubro e novembro) observa-se uma menor variabilidade do NDVI, que pode ser explicada em parte pelo incremento no desenvolvimento vegetal e por um maior estoque de água disponível após a estação fria. A intensidade da atividade agrícola na região também interfere nas flutuações em torno da média, pois introduz no NDVI a resposta das culturas às condições climáticas e aos sistemas de manejo.

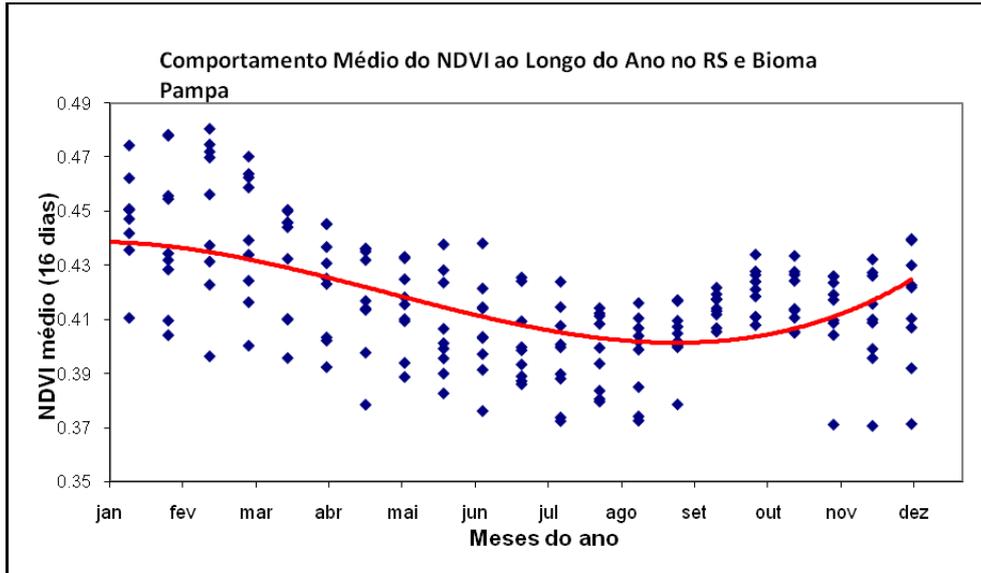


Figura 2. Comportamento médio do NDVI ao longo do ano.

A variabilidade temporal do NDVI médio da área total analisada ao longo da série pode ser observada na Figura 3. Observa-se um comportamento cíclico até a metade de 2004, a partir do qual os valores diminuem sensivelmente. Há uma recuperação no período de 2006/2007, mas em seguida volta a haver diminuição do NDVI médio. A função ajustada mostra uma tendência de decréscimo do NDVI ao longo do período estudado. É importante ressaltar que a média do NDVI inclui toda a variabilidade da cobertura vegetal, contendo tanto áreas com variações cíclicas, como culturas agrícolas, quanto sistemas mais estáveis, como florestas nativas.

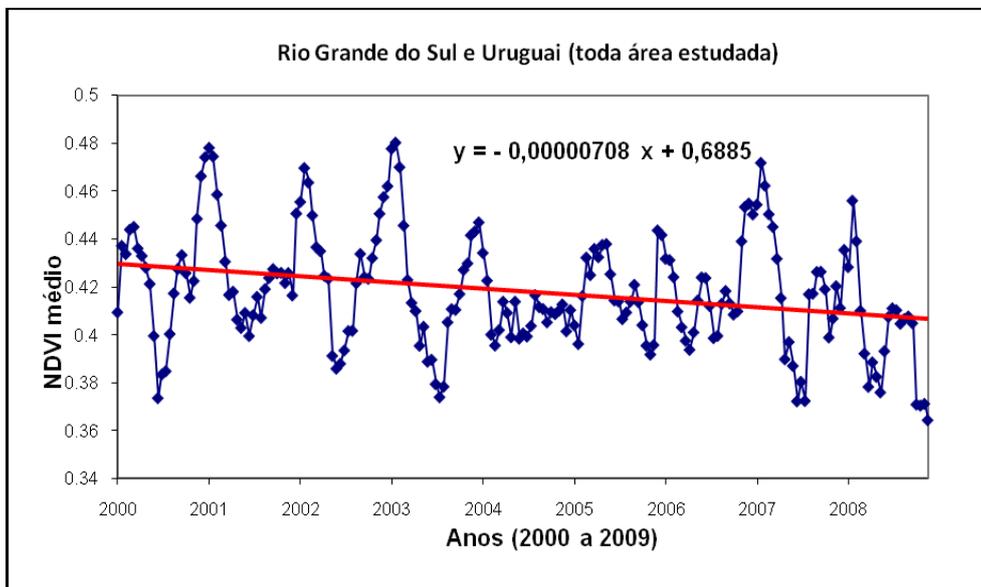


Figura 3. Série temporal do valor médio de NDVI das imagens de 16 dias.

Analisando especificamente duas regiões do Estado do Rio Grande Sul (Figura 4 e Figura 5), observa-se novamente a tendência de diminuição da biomassa, pela linha decrescente nos gráficos gerada a partir da média dos valores de NDVI das amostras.

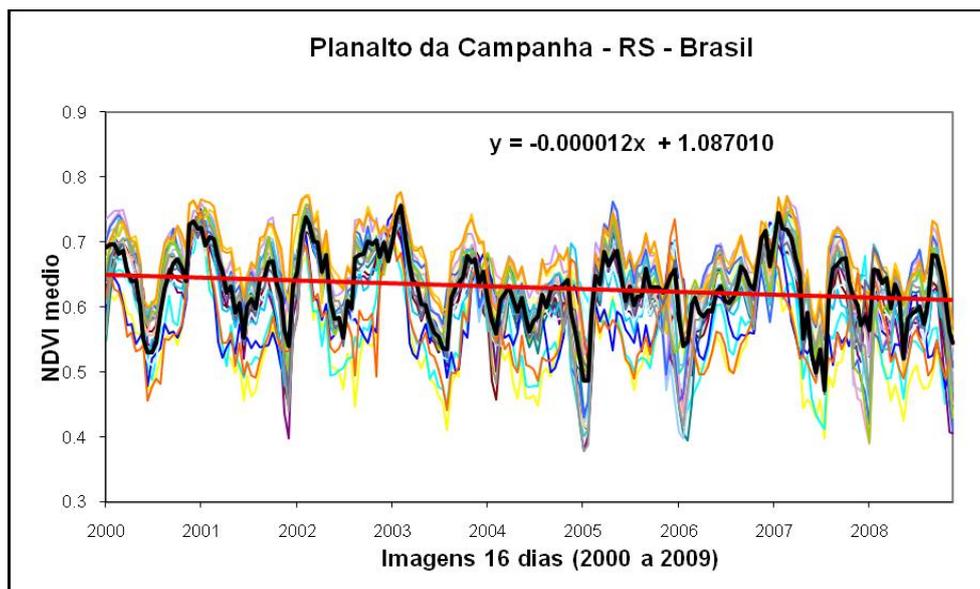


Figura 4. Série temporal do valor médio de NDVI das imagens de 16 dias para a região do Planalto da Campanha, RS-Brasil.

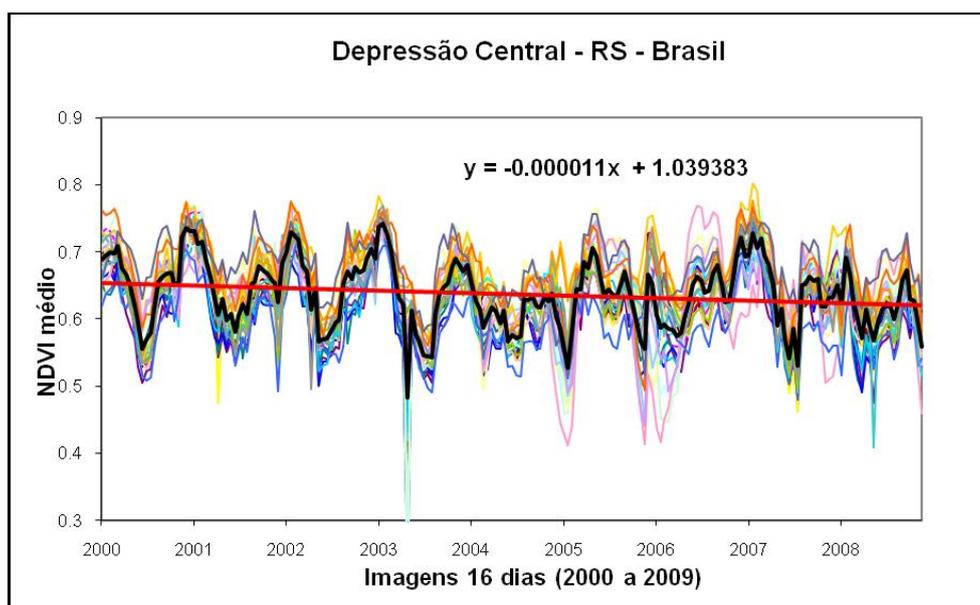


Figura 5. Série temporal do valor médio de NDVI das imagens de 16 dias para a região da Depressão Central, RS-Brasil.

Analisando-se a ocorrência dos eventos de La Niña moderado (índices na faixa de -0.5 a -1.6) para este mesmo período, observa-se que eles ocorrem em vários anos da série de imagens analisada (2000/2001, 2005/2006 e 2007/2008), além de ocorrerem em anos imediatamente anteriores à série. Neste caso, o efeito de seca gerado pelo fenômeno pode estar influenciando fortemente a diminuição da resposta da biomassa no NDVI. Os resultados ainda são preliminares, mas são indicativos de como a vegetação da região responde aos efeitos das variações climáticas.

A Figura 6 mostra o coeficiente Tau de Mann-Kendall para uma função ajustada *pixel a pixel* ao longo da série. O teste de tendência monotônica de Mann-Kendall fornece um indicador de tendência não linear que mede o grau com que uma tendência está aumentando ou diminuindo consistentemente. Em um intervalo de -1 a 1, valores positivos indicam tendência de aumento e valores negativos indicam tendência de decréscimo. Na prática, a

estatística Mann-Kendall mede a diferença entre a frequência relativa dos aumentos e a frequência relativa das diminuições. Analisando-se a Figura 6, constata-se que grande parte do território estudado apresenta valores negativos, indicando tendência de decréscimo do NDVI ao longo da série avaliada. Uma parcela significativa apresenta valores próximos de zero (tons claros na figura), relacionados à ausência de tendência e coincidentes com a maior parte das áreas cultivadas. Os valores positivos (tons escuros na figura) indicam locais com tendência de aumento, e estão relacionados principalmente às áreas de florestas cultivadas implantadas recentemente e que ainda estão em desenvolvimento, acumulando biomassa.

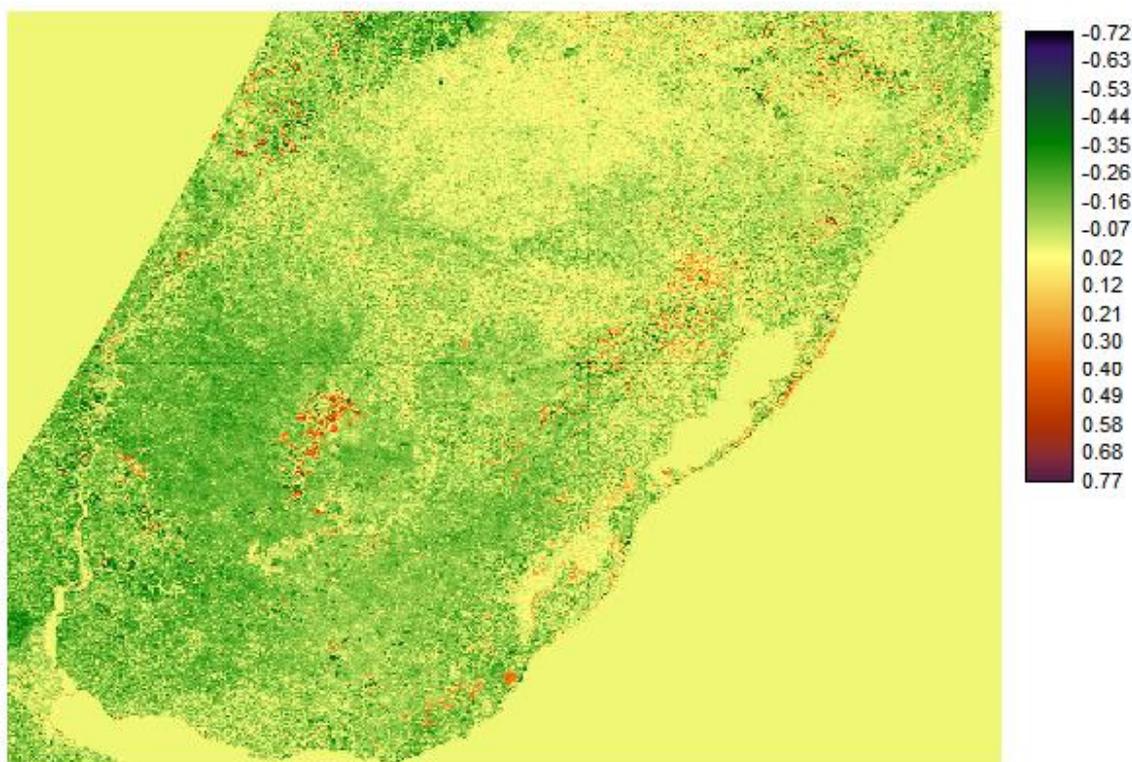


Figura 6. Coeficiente do Tau de Mann-Kendall para tendência monotônica ajustado para a série de NDVI.

## 5. Conclusões

Os resultados mostram coerência na resposta do NDVI médio ao longo do ano com a sazonalidade do clima na região. Tanto na área total estudada quanto nas amostras os maiores valores de NDVI ocorrem no início da série temporal. Observou-se também um padrão de comportamento do NDVI no tempo (na área total e nas amostras) que perde regularidade após o ano de 2004 (forte estiagem na região), o que pode estar correlacionado com a ocorrência de vários eventos moderados de La Niña a partir desse ano.

Em todos os casos o ajuste linear na série indica decréscimo nos valores de NDVI. A imagem do coeficiente Tau de Mann-Kendall também é um resultado interessante porque permite avaliar como a tendência temporal se distribui espacialmente no território estudado. O resultado ressalta os efeitos da ação antrópica na região, com as áreas agrícolas consolidadas com valores pequenos devido à sazonalidade das culturas. Já nas áreas modificadas recentemente, especialmente aquelas destinadas à silvicultura, observa-se um aumento no coeficiente de tendência monotônica. Nas principais áreas campestres remanescentes os valores do coeficiente Tau de Mann-kendall foram negativos, indicando uma regressão negativa e com certo grau de sazonalidade do bioma (principalmente na região do Uruguai).

Os resultados sugerem que o NDVI pode ser usado como um indicador da resposta da vegetação aos efeitos das ações antrópicas ou das mudanças climáticas, especialmente de eventos como El Niño e La Niña.

### **Agradecimentos**

À *The Nature Conservancy* (TNC) pelo financiamento do projeto “Atualização do Mapa de Sistemas Ecológicos e Mapeamento de Remanescentes das Savanas Uruguaias”, no qual este estudo se insere.

### **Referências bibliográficas**

Dinerstein, E.; Olson, D. M.; Graham, D. J.; Webster, A. L.; Primm, S. A.; Bookbinder, M. P.; Ledec, G. 1995. *A conservation Assessment of the terrestrial ecoregions of Latin America and the Caribbean*. Washington: WWF & The World Bank.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 1986. *Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguaiana e SI.22 Lagoa Mirim*. Rio de Janeiro, IBGE. CD-ROM. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 33).

Junges, A. H. Modelo agrometeorológico espectral de estimativa de rendimento de grãos de Trigo no Rio Grande do Sul. 123p. 2008. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008.

Klering, E. V. Avaliação do uso de imagens MODIS na modelagem agrometeorológica-espectral de rendimento de arroz irrigado no Rio Grande do Sul. 116p. 2007. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2008.

Rudorff, C. M. ; Rizzi, R.; Rudorff, B. F. T.; Berda, L. M. S.; Vieira, C. A. O. Superfície de Resposta Espectro-temporal de imagens MODIS para classificação de área de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 37, n. 1, p. 118-125, 2007.

Silva, J. M. C. ; Dinnouti, A. 2009. Análise de representatividade das unidades de conservação federais de uso indireto na Floresta Atlântica e Campos Sulinos. Disponível em: <http://www.aliancamataatlantica.org.br/uc.htm>, Acesso em 27 mar . 2009.

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Disponível em: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml). Acesso em: 19 mar. 2009.

National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2009. Warehouse Inventory Search Tool: <https://wist.echo.nasa.gov/api/>