

ISSN 0104-1347

## Alterações na vegetação em macrozonas do Rio Grande do Sul associados a eventos El Niño e La Niña, usando imagens NOAA

Vegetation alterations in macrozones of the Rio Grande do Sul State, Brazil, associated to El Niño and La Niña events using NOAA images

Lizandro Oliveira Jacóbsen<sup>1</sup>, Denise Cybis Fontana<sup>2</sup> e Yosio Edemir Shimabukuro<sup>3</sup>

**Resumo** - Neste trabalho o objetivo a foi identificação de padrões de comportamento da cobertura vegetal associados aos eventos El Niño e La Niña utilizando imagens AVHRR/NOAA para as diferentes zonas de cobertura e uso do solo no Estado do Rio Grande do Sul. Foram utilizados dados de precipitação pluvial e imagens de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), no período de julho de 1981 a junho de 2000. Os dados, classificados como El Niño, La Niña e Neutro, foram utilizados para traçar gráficos com a evolução temporal de NDVI. Os resultados mostraram que existe um padrão diferenciado de variações na cobertura vegetal ao longo do ano entre as Zonas de Cobertura e Uso do Solo. É possível quantificar as alterações interanuais deste padrão, por meio do monitoramento com imagens de NDVI. As variações anuais do NDVI são determinadas pela disponibilidade de radiação solar e condições térmicas, porém, alteradas pela disponibilidade hídrica. Parte da variabilidade interanual do padrão de evolução do NDVI está associada à ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña, como consequência principalmente, do efeito deste fenômeno sobre a precipitação pluvial do Estado. Em anos de El Niño há aumento na precipitação pluvial e, conseqüentemente, aumento no NDVI, enquanto em anos de La Niña ocorre diminuição da precipitação pluvial o que determina valores de NDVI também menores. O período de maior impacto do fenômeno El Niño e La Niña sobre o NDVI é de novembro a fevereiro, sendo as Macrozonas de campos aquelas que apresentam os maiores efeitos associados ao fenômeno

**Palavras-Chave:** El Niño, La Niña, NDVI, AVHRR, cobertura vegetal, Rio Grande do Sul

**Abstract** - The objective of this work was to identify patterns of vegetation cover associated with El Niño and La Niña events using AVHRR/NOAA images for different Macrozones of the State of Rio Grande do Sul. In this study, rainfall data and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) images corresponding to the period from July-1981 to June-2000 were used. The data, classified as El Niño, La Niña and Neutral, were used to draw graphs with the temporal evolution of NDVI. The results showed a different pattern of vegetation cover behavior among macrozones analyzed. It is possible to quantify changes in these patterns, by the use of AVHRR/NDVI images. The annual variations in the NDVI values are determined by the annual availability of solar radiation and temperature, nevertheless, they are modified by water disponibility. Part of the interannual variability of the NDVI pattern are associated to the El Niño and La Niña phenomenon, mainly as a consequence of this phenomenon over rainfall. In El Niño years there is an increase in the rainfall and consequently an increase in the NDVI values. During the La Niña years the rainfall decreases determining lower NDVI values. The period of major impact of the El Niño and the La Niña over NDVI is from November to February, and the Macrozones of fields present the larger effects associated to this phenomenon.

**Key words:** El Niño, La Niña, NDVI, AVHRR, vegetation cover, Rio Grande do Sul

<sup>1</sup>Pesquisador, mestre, Instituto Tecnológico SIMEPAR. [lizandro@simepar.br](mailto:lizandro@simepar.br)

<sup>2</sup>Professora, doutora, Faculdade de Agronomia da UFRGS. [dfontana@vortex.ufrgs.br](mailto:dfontana@vortex.ufrgs.br)

<sup>3</sup>Professor, doutor, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. [yosio@ltid.inpe.br](mailto:yosio@ltid.inpe.br)

## Introdução

Em grandes áreas, a análise do desenvolvimento da vegetação pode ser feita usando técnicas de sensoriamento remoto. Entende-se por sensoriamento remoto o conjunto de técnicas que possibilitam a obtenção, à distância, de informações sobre alvos de interesse. Isto é conseguido pela detecção, quantificação e análise da energia eletromagnética refletida e emitida pelos alvos. A radiação refletida é, entretanto, a informação mais frequentemente utilizada para o monitoramento da vegetação presente na superfície da Terra.

Normalmente, estes estudos utilizam os denominados índices de vegetação, sendo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) o mais utilizado. As medidas de NDVI têm, em geral, associação direta com a quantidade de cobertura vegetal, o índice de área foliar, o tipo de cobertura do solo e a interceptação da radiação (BARET & GUYOT, 1991; ANTUNES *et al.*, 1993; FONSECA, 2000). Este índice é calculado pela razão entre a diferença e a soma das reflectâncias nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo.

Frequentemente o NDVI obtido de imagens do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) a bordo do satélite NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) tem sido usado para classificar e monitorar a vegetação na superfície, visto que este índice representa bem a evolução sazonal da vegetação continental. A variação anual do NDVI em certas regiões pode indicar impactos regionais causados por alterações nas condições meteorológicas e mudanças fenológicas. Como exemplos do uso de imagens de NDVI, obtidas do sensor AVHRR/NOAA, para o monitoramento da vegetação no território brasileiro pode citar-se alguns trabalhos de BATISTA *et al.*, (1993) (Região Norte), LIU *et al.*, (1994) (Região Nordeste), FONTANA *et al.*, 1998, 2000) (Estado do Rio Grande do Sul), MING & LIU, (2000) (Estado de São Paulo) e RIZZI & FONSECA, (2001) (Estado do Rio Grande do Sul). Os trabalhos citados apontam para o fato de que a distribuição espacial e temporal da cobertura vegetal de uma região é fortemente influenciada por um conjunto de fatores ambientais, incluindo condições de clima, de topografia e de solos, as quais podem ser detectadas remotamente a partir de imagens de NDVI. Segundo SCHROEDER *et al.* (1999), mais do que proporcionar uma visão de como a cobertura vegetal se encontra distribuída na superfície, o NDVI vem

permitir um estudo da dinâmica da cobertura, evidenciando as variações apresentadas por ela em decorrência de forçantes climáticas isoladas, dos ciclos fenológicos anuais e de eventos episódicos, como é o caso do El Niño e La Niña.

O ENOS (*El Niño Oscilação Sul*) é caracterizado pela ocorrência de anomalias na Temperatura da Superfície do Mar (TSR), associado a anomalias na pressão atmosférica de regiões do Oceano Pacífico equatorial. Quando há anomalias positivas de TSM e negativas de pressão atmosférica caracteriza-se El Niño. A situação inversa é denominada La Niña.

O Estado do Rio Grande do Sul situa-se numa das regiões de grande impacto do fenômeno El Niño e La Niña, estando associado a alterações, principalmente, na precipitação pluvial, mas também, na temperatura do ar. Em geral, ocorre aumento na precipitação pluvial (intensidade e frequência), associado ao El Niño, e diminuição desta, associada à La Niña, especialmente nos meses de outubro, novembro e dezembro (FONTANA & BERLATO, 1997; GRIMM & SANT'ANNA, 2000; PUCHALSKI, 2000). Vários estudos têm demonstrado que a variabilidade do regime de precipitação pluvial e de temperatura, associado ao fenômeno El Niño e La Niña, alteram a condição da cobertura vegetal na superfície em diversas regiões do globo, influenciando fortemente os padrões temporais e espaciais do NDVI. Alguns dos estudos mais recentes com este enfoque são os trabalhos desenvolvidos por MENNIS (2001), no sudeste dos Estados Unidos; DESSAY *et al.* (2001), no Brasil; LI & KAFATOS (2000), nos Estados Unidos e ANYAMBA *et al.* (2001), no continente africano.

Neste trabalho o objetivo foi a avaliação dos efeitos associados ao fenômeno El Niño e La Niña sobre a evolução temporal da vegetação nas diversas zonas de cobertura e uso no Estado do Rio Grande do Sul, usando imagens NDVI do sensor AVHRR do satélite NOAA.

## Material e métodos

O estudo foi realizado sobre o Estado do Rio Grande do Sul, no qual predominam os tipos climáticos Cfa e Cfb, segundo classificação climática de Köppen. O período de estudo foi de 19 anos, compreendido de julho de 1981 a junho de 2000. Neste período foram analisados três cenários distintos, quais sejam: anos de ocorrência de El Niño (1982-1983; 1986-1987; 1987-1988; 1991-1992; 1992-1993;

1994-1995 e 1997-1998), anos de ocorrência de La Niña (1984-1985; 1988-1989; 1995-1996; 1998-1999 e 1999-2000) e anos de não ocorrência do fenômeno, denominados anos Neutros (1981-1982; 1983-1984; 1985-1986; 1989-1990; 1990-1991; 1993-1994; 1996-1997), segundo NOAA (2002).

As imagens mensais de NDVI/AVHRR utilizadas foram fornecidas pelo Grupo GIMMS (*Global Inventory Monitoring and Modelling Studies*) da NASA/GSFC (*National Aeronautics and Space Administration/Goddard Space Flight Center*), com as correções radiométricas e geométricas e também, a composição mensal do máximo NDVI, já processadas. A resolução espacial foi de 8 Km por 8 Km e os valores de NDVI situados entre -1 e +1 foram multiplicados por 1000. Em cada imagem, aos valores que extrapolaram estes limites, foram atribuídos os valores -9999. Já nas regiões de lagoas e de oceano o valor atribuído foi de -9998, conforme utilizado por DESSAY et al. (2001).

Os mapas de precipitação pluvial mensal foram gerados por interpolação espacial dos dados provenientes de 40 estações meteorológicas da rede do 8º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia (8º DISME/INMET) do Ministério da Agricultura e Abastecimento e da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária da Secretaria da Ciência e Tecnologia do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAGRO, SCT-RS). A metodologia detalhada de coleta e processamento dos dados originais encontra-se em JACÓBSEN et al., 2003.

As análises foram feitas utilizando as imagens de NDVI e mapas de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul, tendo como base o Macrozoneamento Temático do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), fornecido pelo Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (DUCATI et al., 2001). Neste trabalho, por conveniência, o Macrozoneamento Temático do Estado do Rio Grande do Sul foi modificado em algumas Macrozonas (Zonas de Cobertura e Uso do Solo). A Unidade Geomorfológica (UG) Planície Costeira teve todas as suas Macrozonas agrupadas em uma chamada de Planície Costeira. Na UG Cuesta de Haedo, a Macrozona Campos Sujos foi unificada com a Macrozona Campos, denominada Campos. A Macrozona Campos da UG Planalto foi separada em duas, denominadas Campos e Campos de Cima da Serra. O uso do Macrozoneamento Temático se deu

em função deste utilizar o tipo de cobertura e uso do solo, ou seja, em função da geomorfologia, do solo e da vegetação como critério de estratificação do Estado, compatível com o interesse deste estudo.

Para cada Macrozona, foram extraídos os valores médios, máximos e mínimos de NDVI e de precipitação pluvial para cada imagem mensal que compõe a série analisada. O mesmo procedimento foi feito, também, para as imagens que representam as médias dos anos de El Niño, dos anos de La Niña e dos anos Neutros. Esta etapa foi realizada usando-se a rotina *extract* disponível no *software* Idrisi, tendo como base o arquivo rasterizado das macrozonas do Rio Grande do Sul (Figura 1).

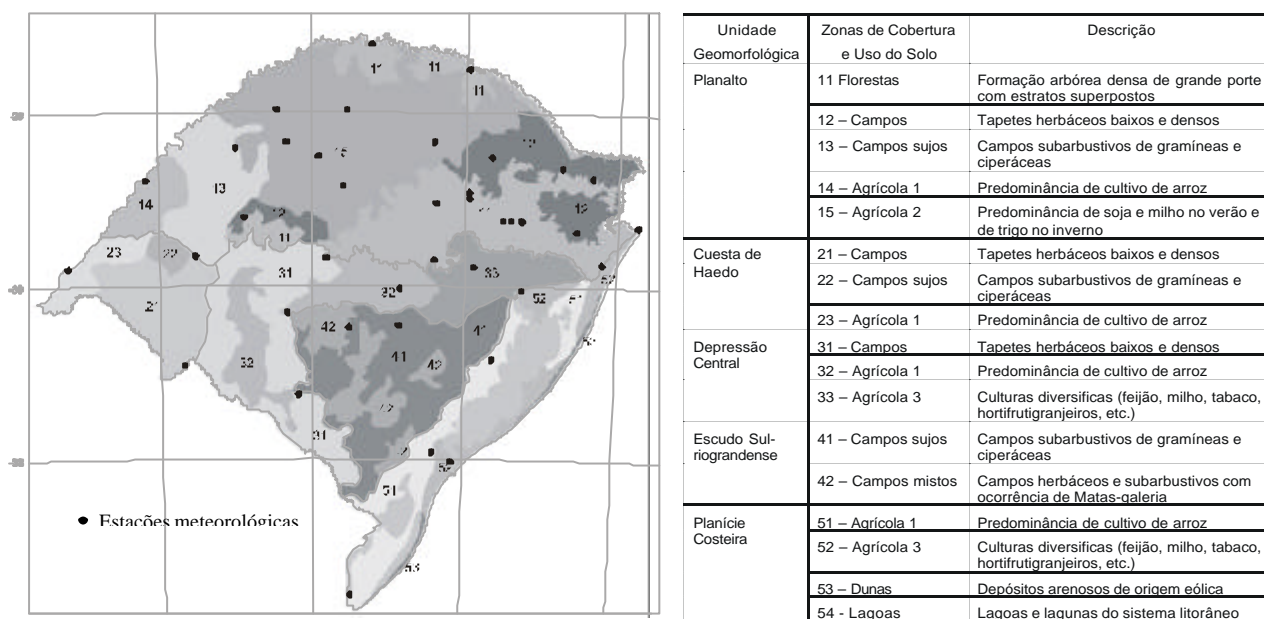
Estes dados foram utilizados para a confecção de gráficos contendo a evolução temporal do NDVI e da precipitação pluvial para as médias dos anos de El Niño, La Niña e Neutros. Este procedimento teve como finalidade a identificação de diferentes padrões de distribuição temporal e espacial destas variáveis.

Por fim, os valores máximos, médio, mínimos e a amplitude do NDVI verificados nos meses de dezembro e janeiro foram representados na forma tabular, para cada macrozona, representando anos de El Niño, La Niña e Neutros,

## Resultados e discussão

Nas Figuras 2, 3 e 4 são apresentados, para os anos Neutros, os ditos perfis espectrais, ou seja, a variação temporal do NDVI e da precipitação pluvial neste cenário. Este pode ser entendido como a condição média das diferentes Macrozonas, ainda que os valores observados de precipitação pluvial tenham sido um pouco acima da normal climatológica (1961-1990), em vários meses, ao longo do ano. Na maioria das Macrozonas, os valores máximos mensais de precipitação pluvial ocorreram em setembro (130 a 210 mm), fevereiro (150 a 200 mm) e maio (200 a 250 mm).

Nestas mesmas figuras, pode verificar-se que o padrão de evolução temporal de NDVI apresentou semelhanças entre as Macrozonas do Estado. A tendência geral observada nos valores de NDVI é de eles seguirem a curva de disponibilidade de radiação solar e de temperatura, ou seja, ambos apresentam valores máximos no verão e, mínimos, no inverno, em consequência da variação na declinação solar. Durante



**Figura 1.** Macrozoneamento Temático do Estado do Rio Grande do Sul, mostrando e descrevendo as características das Unidades Geomorfológicas (UG) e Zonas de Cobertura e Uso do Solo (Macrozonas). Fonte: Ducati et al. (2001).

o inverno, a menor disponibilidade de radiação solar aliada às freqüentes massas polares que avançam sobre o Estado determinam a ocorrência de geadas. Estas, dependendo da intensidade, duração e época de ocorrência, podem comprometer o crescimento e desenvolvimento da vegetação.

O padrão descrito é, entretanto, alterado, em parte das Macrozonas. Especialmente nas Macrorregiões ocupadas por campos, houve redução no NDVI nos meses de dezembro e janeiro, o que possivelmente ocorra devido à restrição ao crescimento das plantas em função da precipitação pluvial não suprir a demanda evaporativa da atmosfera, muito alta no período. Esta hipótese tem suporte em trabalhos como o de ÁVILA et al. (1996); MATZENAUER et al. (1998); PUCHALSKI (2000) e MATZENAUER (2001), os quais mostraram que, em condições normais, em todo o Estado do Rio Grande do Sul, e mais intensamente na metade Sul, é freqüente a ocorrência de deficiência hídrica.

Salientam-se ainda, as variações no padrão de evolução temporal do NDVI que ocorreram em algumas Macrozonas, como na Macrozona Agrícola 2 da UG do Planalto (Figura 2), atingiram um único nível máximo de NDVI (entre 600 a 650), em fevereiro e março; na UG da Planície Costeira (Figura 3), apresentaram um padrão de evolução temporal semelhante ao anterior, porém com valores de NDVI infe-

riores; na Macrozona de Florestas e Campos de Cima da Serra da UG do Planalto (Figura 2), apresentaram um único nível máximo de NDVI oscilando entre 550 a 600, mas, neste caso, a duração foi maior, de outubro a abril. Nas duas primeiras Macrozonas, este padrão é consequência do intenso crescimento vegetal das culturas anuais, enquanto que as duas últimas estão localizadas na região mais chuvosa do Estado.

Nas Figuras 5, 6 e 7, observa-se que a precipitação pluvial em todas as Macrozonas do Estado do Rio Grande do Sul foi maior em anos de El Niño do que em anos de La Niña, na maior parte do ano. As maiores diferenças ocorrem nos meses de outubro, novembro e dezembro, o que está de acordo com outros trabalhos realizados no Estado, como de FONTANA & BERLATO (1997), GRIMM & SANT'ANNA (2000) e PUCHALSKI (2000). Verificou-se, neste período, uma defasagem na resposta do NDVI à precipitação pluvial, visto que o aumento da precipitação pluvial nos meses de outubro, novembro e dezembro acarretou um aumento de NDVI nos meses de novembro, dezembro e janeiro. Em anos de El Niño foram observados valores maiores de NDVI também no inverno e início da primavera. Neste período, os incrementos no NDVI, possivelmente não sejam consequência de alterações no regime de precipitação pluvial, mas sim, do regime de temperatura. LOPES & BERLATO (2002), analisando a asso-

Planalto

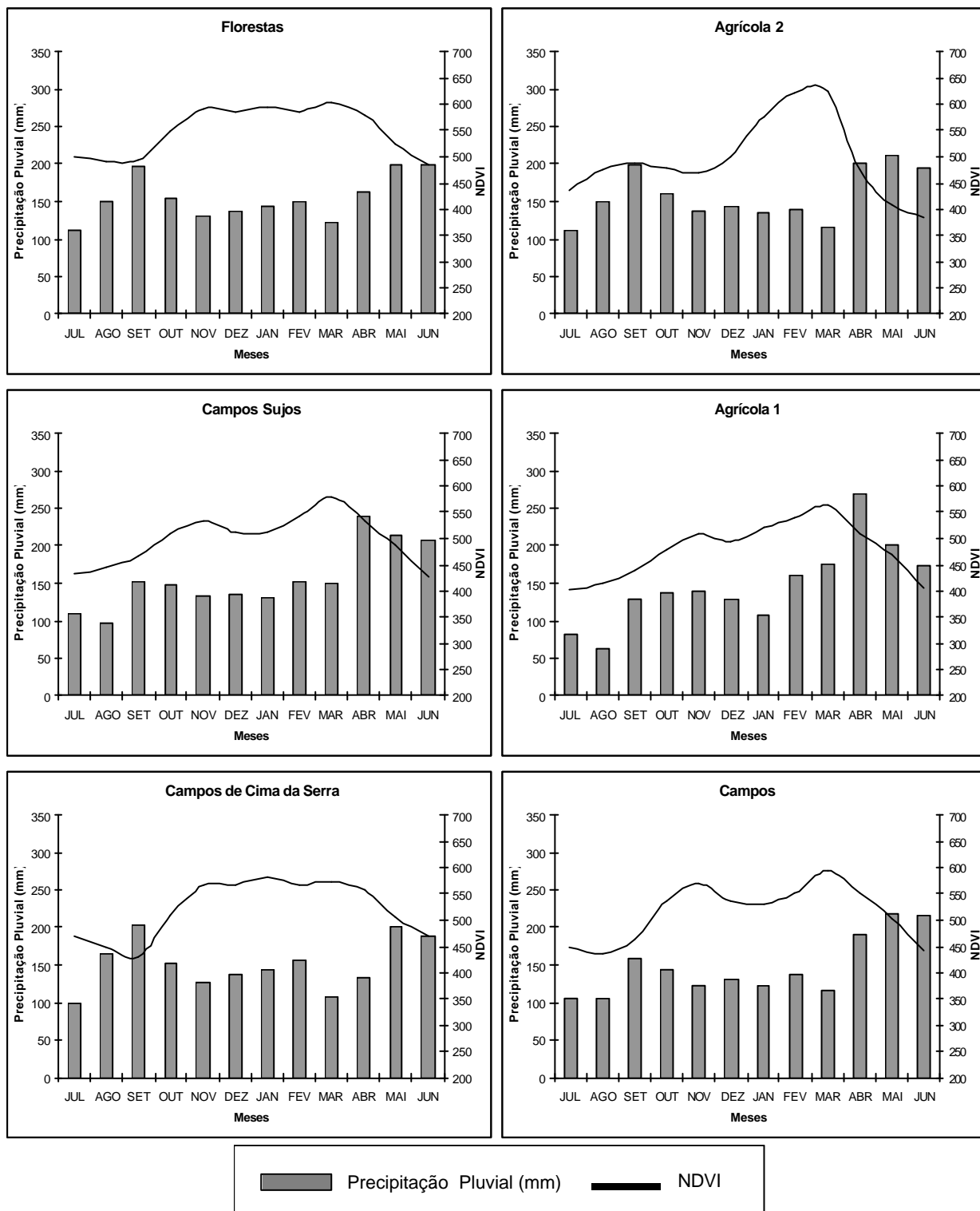
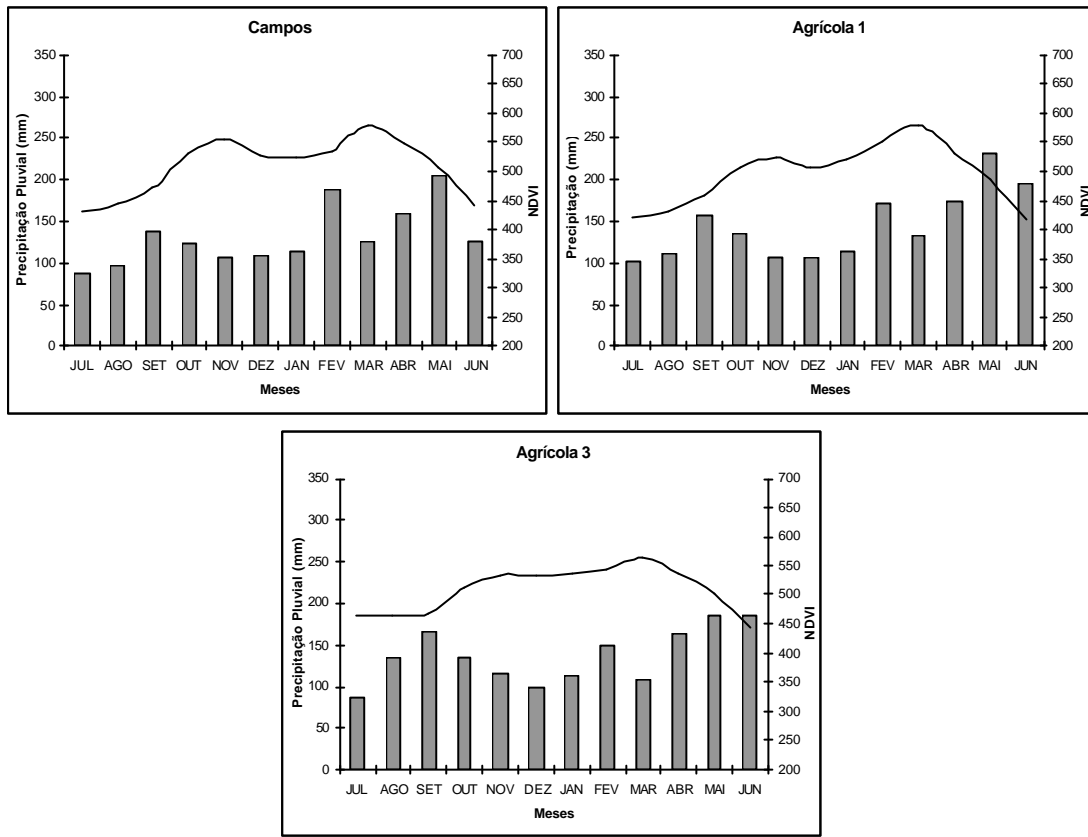
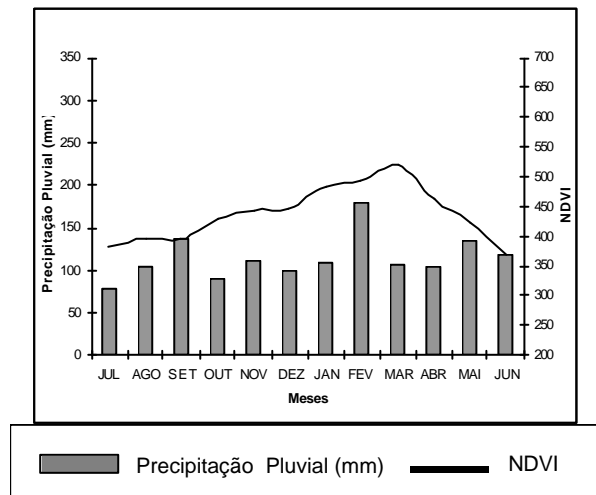


Figura 2 Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica do **Planalto** do Estado do Rio Grande do Sul, em anos Neutros.

### Depressão Central

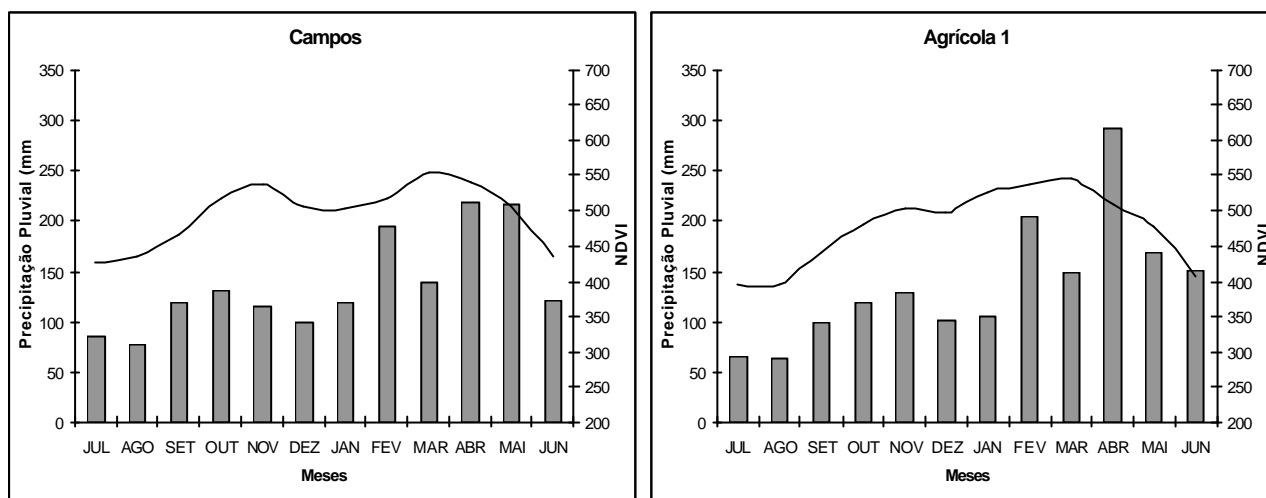


### Planície Costeira

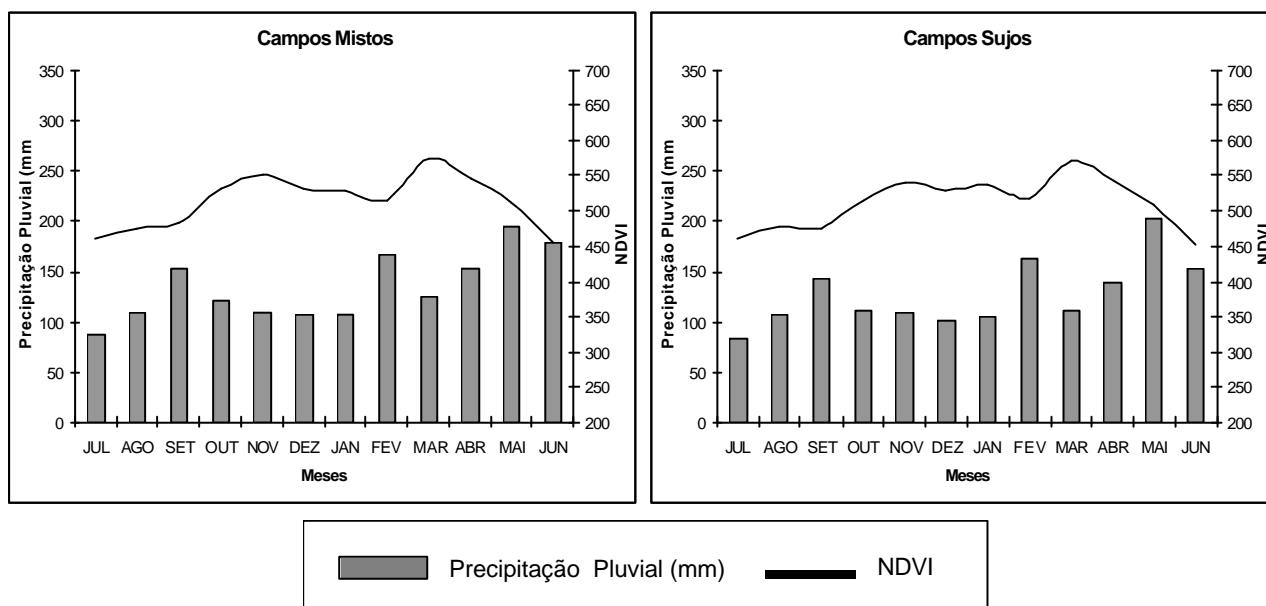


**Figura 3.** Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da **Depressão Central** e **Planície Costeira** do Estado do Rio Grande do Sul, em anos Neutros.

## Cuesta de Haedo



## Escudo Sul-rio-grandense



**Figura 4.** Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da **Cuesta de Haedo** e **Escudo Sul-rio-grandense** do Estado do Rio Grande do Sul, em anos Neutros.

ciação entre temperatura do ar e o fenômeno El Niño e La Niña, verificaram que é observada maior frequência de ocorrência de temperaturas mínimas mais baixas associadas à La Niña. Isto pode estar associado à maior frequência de ocorrência de geadas que comprometem o crescimento vegetal, especialmente no inverno. Já a evolução temporal de NDVI para o restante do período foi similar para os dois cenários, assim como para os anos Neutros (Figuras 2, 3 e 4).

Em particular as Macrozonas da UG Cuesta do Haedo e da UG Escudo Sul-rio-grandense (Figura 7), apresentaram valores de NDVI mais altos em anos de El Niño do que em anos de La Niña, no período de julho a março, com as maiores diferenças de NDVI ocorrendo entre os dois cenários em dezembro e janeiro. Já as menores diferenças ocorreram na Macrozona Floresta da UG Planalto (Figura 5), região com alta precipitação pluvial, mesmo em anos

de La Niña, na UG Planície Costeira (Figura 6), composta por regiões de dunas, culturas diversas e arroz irrigado e, por fim, na Macrozona Agrícola 3 da UG da Depressão Central (Figura 6), em que o tipo de uso e cobertura é altamente diversificado.

Semelhanças na evolução do NDVI, para um mesmo período, foram observadas entre as Macrozonas caracterizadas por intenso uso agrícola. A Macrozona Agrícola 2 da UG Planalto (Figura 5) foi a que apresentou os maiores valores de NDVI (em torno de 650) e com maior duração temporal, o que está associado a um maior volume de produção e de rendimento de culturas em anos de El Niño.

Também foram encontradas semelhanças nas regiões caracterizadas por campos. De maneira geral, o NDVI acompanhou a disponibilidade da radiação solar, com valores máximos, em torno de 550, ocorrendo logo após o solstício de verão e mínimos, em torno de 400, ocorrendo logo após o solstício de inverno. Em anos de El Niño, devido ao aumento da precipitação pluvial, os campos se caracterizaram por um contínuo aumento de NDVI, até atingir em seu máximo no mês de fevereiro (entre 550 a 600). Em anos de La Niña, acentuam-se dois picos de máximo NDVI: o primeiro entre outubro e novembro (entre 500 a 550) e o segundo em fevereiro (entre 550 a 600), devido à restrição de água que ocorre pela diminuição da precipitação pluvial nos meses de outubro e novembro, principalmente. Nestas Macrozonas, em anos de La Niña ocorreram as maiores reduções, em relação às outras Zonas de Uso e Cobertura do Solo, mostrando alta sensibilidade à falta de água, principalmente nos meses de dezembro e janeiro. A Macrozona Campos de Cima da Serra da UG Planalto apresentou as menores diferenças em NDVI entre os dois cenários. Já, as maiores diferenças em NDVI foram observadas na UG Cuesta de Haedo, o que pode ser atribuído às maiores reduções na precipitação pluvial e à presença de solos rasos nesta região. A UG Escudo Sul-rio-grandense apresentou diferenças intermediárias de NDVI em relação aos anteriores.

Ao se analisarem os perfis espectrais em cada região, observa-se que existe um padrão consistente de evolução do NDVI, ou seja, o padrão dos anos Neutros se confirmou em todas as regiões, tanto em anos de El Niño como de La Niña, variando somente a amplitude. Estes resultados apontam a possibilidade de utilizar imagens AVHRR do satélite NOAA para compor um sistema de monitoramento do crescimento e desenvolvimento da vegetação em nível regional, o

qual emitirá alerta sempre que as condições forem adversas.

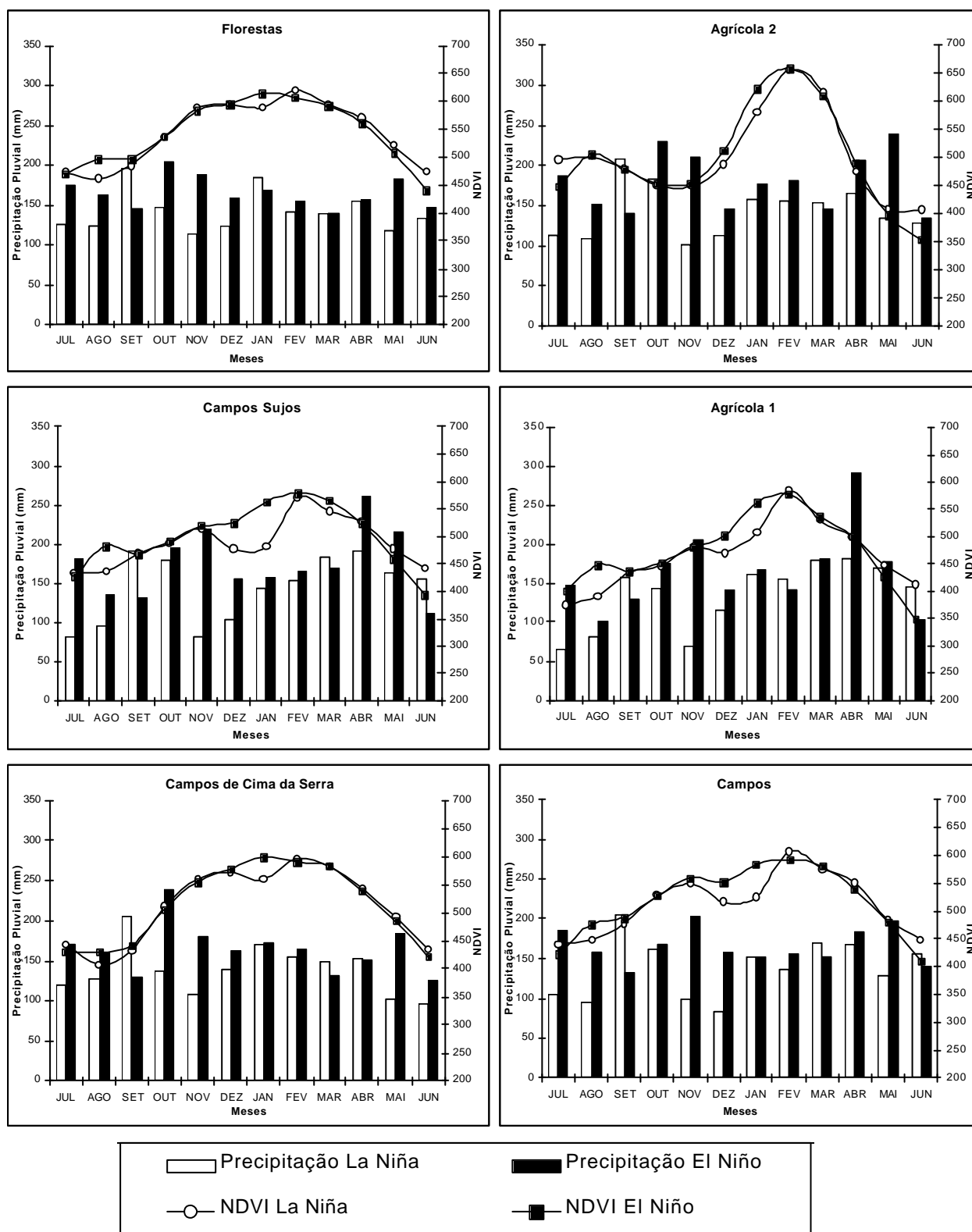
Na Tabela 1 são apresentados alguns indicadores da variabilidade do NDVI (valores máximo, médio, mínimo e amplitude) em anos de El Niño, neutros e de La Niña para as Macrozonas do Rio Grande do Sul, mas somente para a média entre dezembro e janeiro. Estes foram os meses com maiores anomalias no padrão de evolução temporal do NDVI associadas ao fenômeno. Verificou-se que as menores amplitudes e os mais altos valores mínimos, médios e máximos de NDVI foram encontrados, em quase todas as Macrozonas, exatamente nos anos de ocorrência de El Niño. Isto ocorre em função dos incrementos na precipitação pluvial dos meses de outubro, novembro e dezembro e conseqüentemente do maior crescimento da vegetação. Para a média dos anos de El Niño, o mais alto valor máximo ocorreu na Macrozona de Florestas da UG Planalto (NDVI=628) e o mais baixo valor mínimo ocorreu na UG Planície Costeira (NDVI=470), o que é conseqüência das características de cobertura e uso do solo nestas macrozonas.

Na análise das amplitudes nos valores de NDVI, verifica-se na Tabela 1 que os anos Neutros foram aqueles que apresentaram as maiores variabilidades neste índice para a maioria das macrozonas, com o menor valor de amplitude, NDVI igual a 207, observado na Macrozona Campos Sujos da UG Planalto. Já em anos de La Niña, a amplitude no NDVI foi intermediária, enquanto que nos anos de El Niño foram observados os menores valores de amplitude. Isto é esperado na medida que a maior parte dos trabalhos realizados no Estado, que analisaram a associação entre este fenômeno e precipitação pluvial, mostraram que os anos neutros são os que apresentam maior variabilidade interanual (FONTANA & BERLATO, 1997; GRIMM & SANT'ANNA, 2000; PUCHALSKI, 2000). Esta alta variabilidade na precipitação pluvial traz como conseqüência, também, alta variabilidade nos valores de NDVI.

Em geral, as Macrozonas caracterizadas por campos foram as que apresentaram maior variabilidade no NDVI para os três cenários (Tabela 1), com exceção da Macrozona Campos de Cima da Serra (Figura 5) que, juntamente com as Macrozonas Florestas (Figura 6) e Planície Costeira (Figura 7) foram as que apresentaram as menores variabilidades no NDVI para os três cenários. Novamente, o comportamento verificado nas duas últimas macrozonas é co-

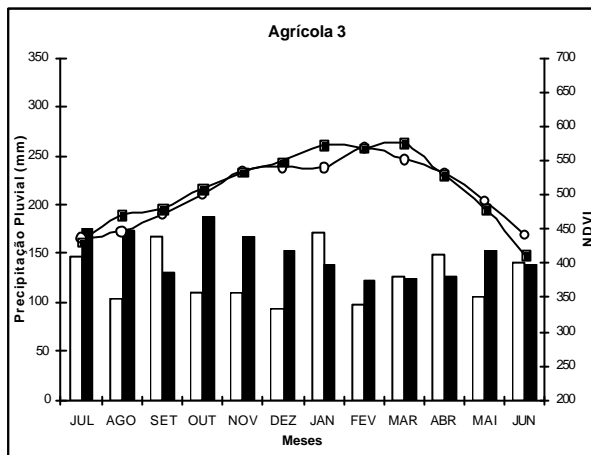
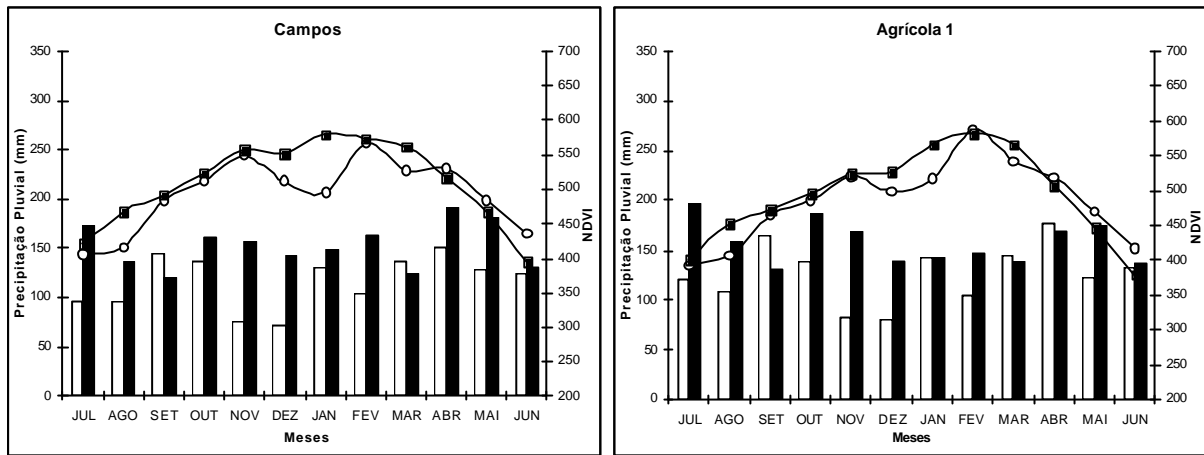


## Planalto

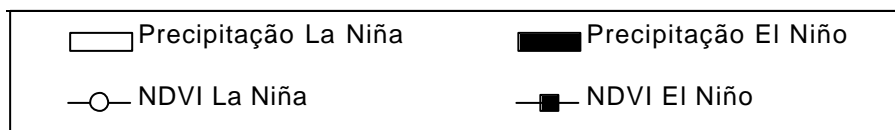
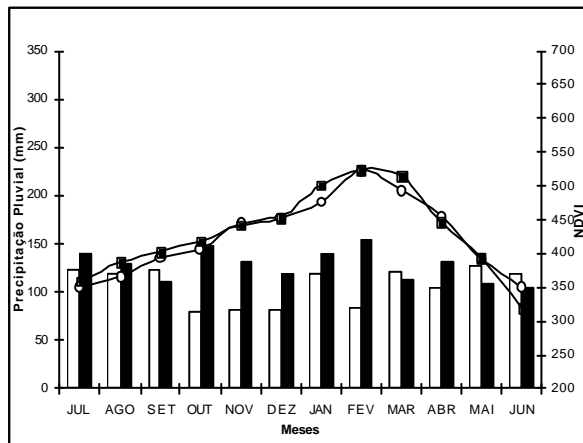


**Figura 5.** Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica do Planalto do Estado do Rio Grande do Sul em anos médios de El Niño e La Niña.

### Depressão Central

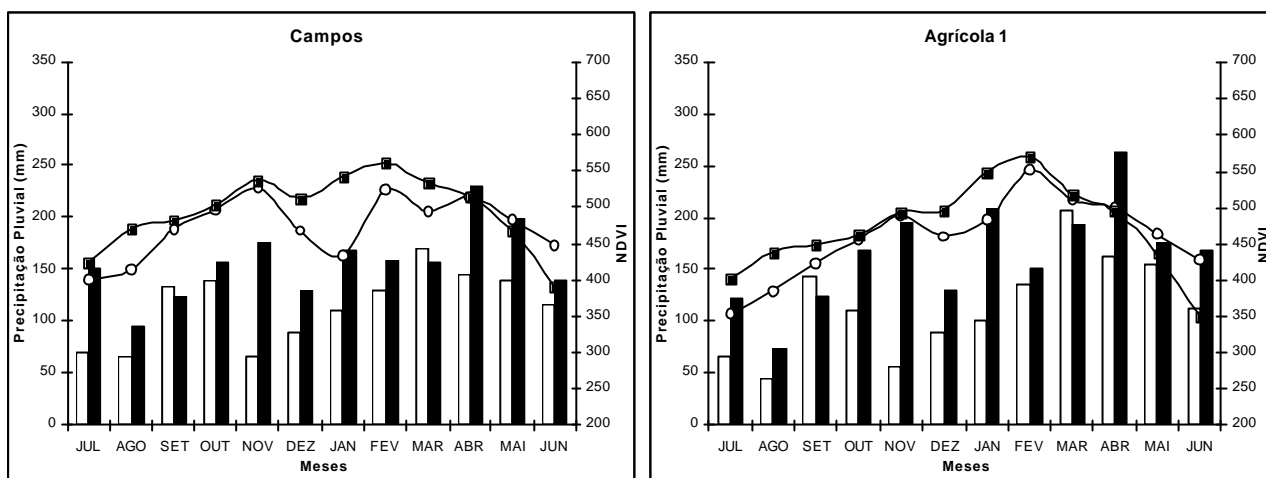


### Planície Costeira

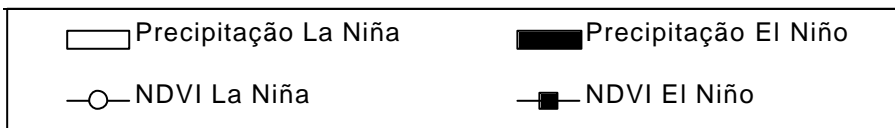
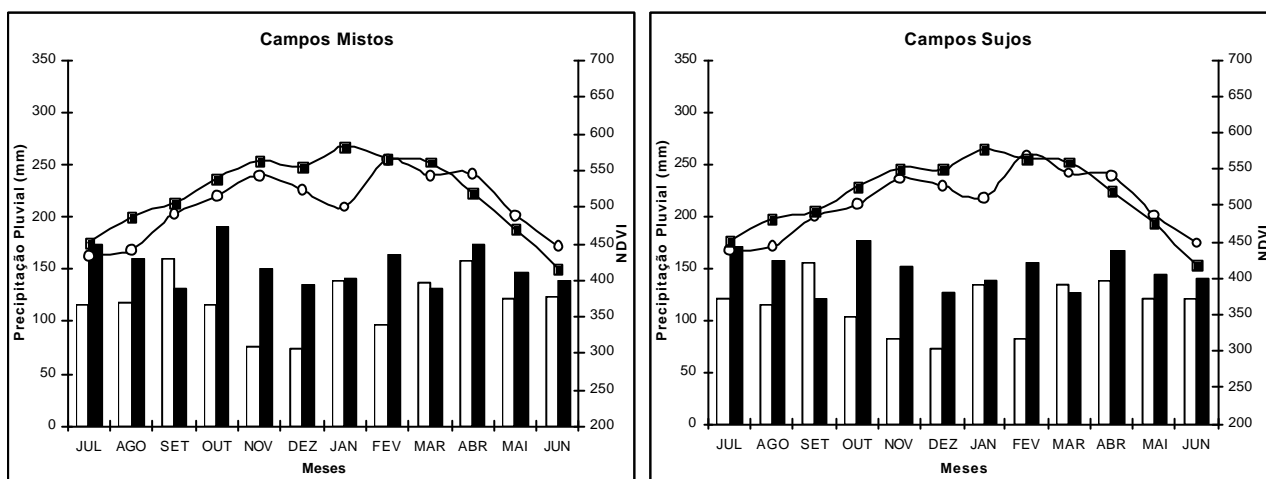


**Figura 6.** Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da Depressão Central e Planície Costeira do Estado do Rio Grande do Sul, em anos médios de El Niño e de La Niña.

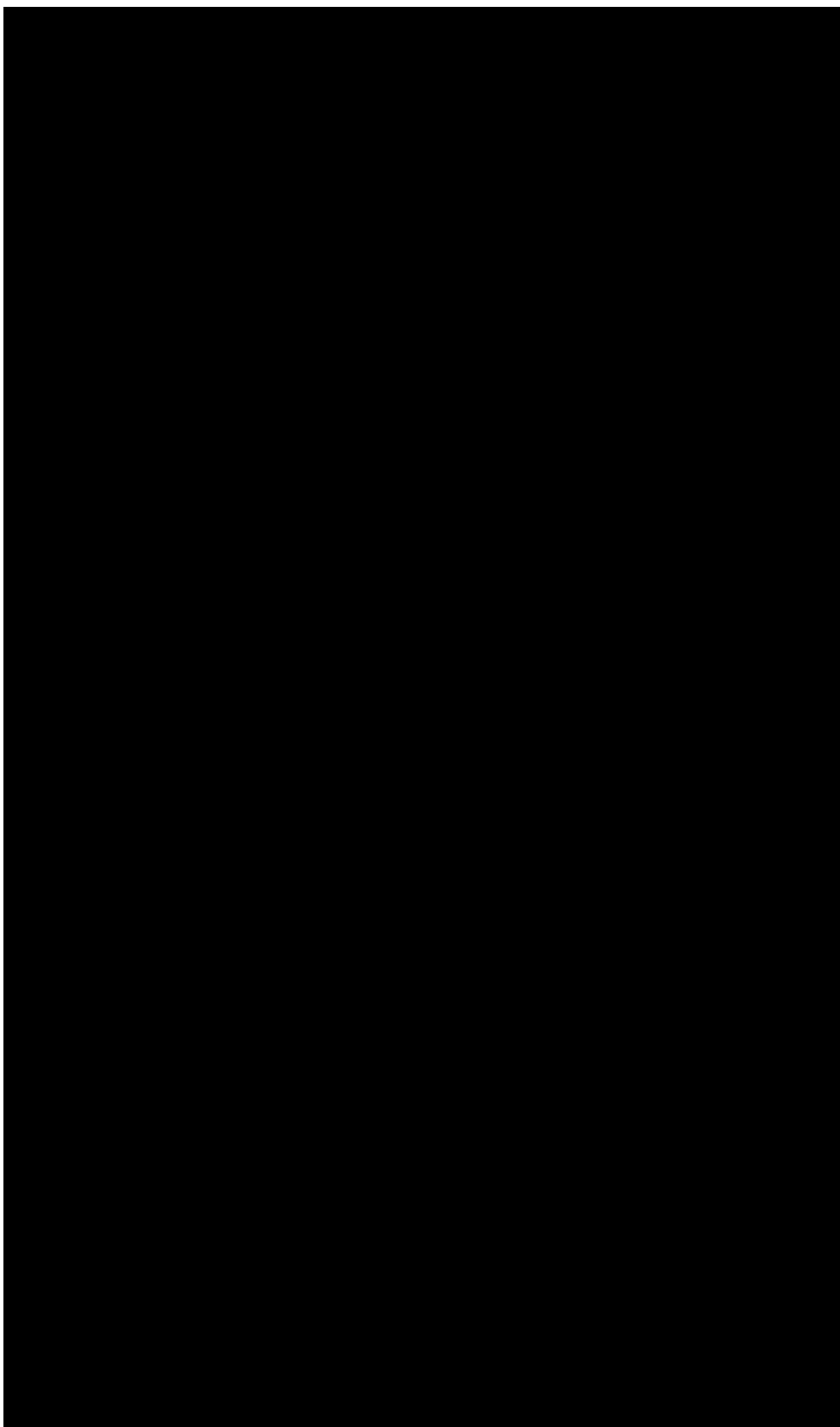
## Cuesta de Haedo



## Escudo Sul-rio-grandense



**Figura 7.** Precipitação pluvial (mm) e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em Zonas de Cobertura e Uso do Solo da Unidade Geomorfológica da **Cuesta de Haedo** e **Escudo Sul-rio-grandense** do Estado do Rio Grande do Sul em anos médios de El Niño e de La Niña.



erente com o esperado para os tipos de cobertura e uso do solo predominantes, o que foi discutido anteriormente neste trabalho. Da mesma forma, a maior variabilidade nas macrozonas de campos, em geral, decorre das condições de armazenamento de água solo.

## Conclusões

Em cada Zona de Cobertura e Uso do Solo do Rio Grande do Sul existe um padrão característico de variação na cobertura vegetal ao longo do ano, o qual pode ser monitorado usando o NDVI obtido de imagens NOAA.

As variações anuais do NDVI são determinadas pela disponibilidade de radiação solar e condições térmicas, porém, alteradas pela disponibilidade hídrica. Parte da variabilidade interanual do padrão de evolução do NDVI está associada à ocorrência do fenômeno El Niño e La Niña, como consequência principalmente, do efeito deste fenômeno sobre a precipitação pluvial do Estado.

Em anos de El Niño, há aumento no NDVI decorrente do aumento na precipitação pluvial. Em anos de La Niña, ocorre diminuição no NDVI, determinado por menores valores da precipitação pluvial.

O período de maior impacto do fenômeno El Niño e La Niña sobre o NDVI é de novembro a fevereiro, sendo as Macrozonas de campos, em todo o Estado, aquelas que apresentam os maiores efeitos associados ao fenômeno.

## Agradecimentos

Agradecemos ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 8º Distrito de Meteorologia (8º DISME/INMET), Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO-RS) e Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM/UFRGS) que cederam as imagens de NDVI, dados meteorológicos e *softwares*, necessários à realização deste trabalho.

## Referências bibliográficas

ANTUNES, M.A.H.; ASSAD, E.D.; BATISTA, G.T. Variação das Medidas Espectrais Tomadas com Espectrorradiômetro ao Longo do Ciclo de Crescimento

de Soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., v. 2; 1993. Curitiba: **Anais...**, Curitiba: INPE, 1993. p. 01-09.

ANYAMBA, A. et al. Anomaly Patterns Over Africa During the 1997/98 ENSO Warm Event. **International Journal of Remote Sensing**, Basisngstoke, v. 22, n. 10, p. 1847-1859. 2001.

ÁVILA, A.M.H. de et al. Probabilidade de Ocorrência de Precipitação pluvial Mensal Igual ou Maior que a Evapotranspiração Potencial para a Estação de Crescimento das Culturas de Primavera-Verão no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 149-154. 1996.

BARET, F.; GUYOT, G. Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 3, p. 161-173. 1991.

BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; LAWRENCE, W. T. Monitoramento da Cobertura Florestal Através de Índices de Vegetação do NOAA/AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., v. 2; 1993. Curitiba, **Anais...**, Curitiba: INPE, 1993. p. 30-37.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e o rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 119-125. 1999.

DESSAY, N. et al. Dados NOAA-AVHRR para avaliação do impacto do El Niño sobre a vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2001. Foz do Iguaçu, **Anais...**, Foz do Iguaçu: INPE, 2001. 1 CD-ROM.

DUCATI, J.R et al. **Criação de um Sistema de Informações Sobre o Território do Rio Grande do Sul com Base em Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento como Ferramenta para Formulação de Políticas Públicas**. Porto Alegre: CEPSRM, UFRGS, 2001. 23 p. (Relatório Técnico, Edital Fapergs 01/1999, Processo 99/0530.7, 2001).

FONSECA, E.L. da. **Caracterização Espectral e Índices de Vegetação em *Paspalum notatum* Flügge var. *notatum* com Vistas à Modelagem de Crescimento**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 60 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia, Área de concentração em Agrometeorologia) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 2000.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul Sobre a Precipitação Pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 127-132. 1997.

- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Relação Entre o Índice de Vegetação Global e Condições Hídricas no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 8, p. 1399-1405. 1998.
- FONTANA, D. C. et al. Perfil Espectral da Soja no Sul do Brasil na Safra 2000. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 9., 2000. Puerto Iguazú, Argentina. **Anais...**, Puerto Iguazú: SELPER, 2000. 1 CD-ROM.
- GRIMM, A. M.; SANT'ANNA, C. L. da S. Influência de Fases Extremas da Oscilação Sul Sobre a Intensidade e Freqüência das Chuvas no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000. Rio de Janeiro, **Anais...**, Rio de Janeiro: SBMet, 2000. 1 CD-ROM.
- JACÓBSEN, L.O.; FONTANA, D.C.; SHIMABUKURO, Y.E. Efeitos Associados a El Niño e La Niña na Vegetação do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2003. (No prelo).
- LI, Z.; KAFATOS, M. Interannual Variability of Vegetation in the United States and Its Relation to El Niño/Southern Oscillation. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 72, p. 239-247. 2000.
- LIU, W.T.H.; MASSAMBANI, O.; NOBRE, C.A. Satellite Recorded Vegetation Response to Drought in Brazil. **International Journal of Climatology**, Basingstoke, v. 14, p. 343-354. 1994.
- LOPES, F.; BERLATO, M.A. Impactos da La Niña nas Temperaturas Médias Mínimas no Estado do Rio Grande do Sul. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13., 2002, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre: UFRGS, 2002.
- MATZENAUER, R.; MACHADO, F.A. Disponibilidade Hídrica para a Cultura do Milho em Anos de El Niño, La Niña e Neutros, nas Regiões Climáticas do Planalto Médio e Depressão Central do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2., 2001. (No prelo)
- MATZENAUER, R. et al. Análise Agroclimática das Disponibilidades Hídricas para a Cultura da Soja na Região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 263-275. 1998.
- MING, T.C.; LIU, W.T.H. Estimativa de Albedo, Temperatura e NDVI do Estado de São Paulo Através de Dados AVHRR do Satélite NOAA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: SBMet, 2000. 1 CD-ROM.
- NOAA. **Cold and Warm Episodes by Season**. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível: em <[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.html](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.html)> Acesso em: 20.abr.2002.
- PUCHALSKI, L. A. **Efeitos Associados ao El Niño e La Niña na Temperatura Média, Precipitação Pluvial e no Déficit Hídrico no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 83 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia, Área de concentração em Agrometeorologia) – Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, 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, 11.; 2001. Foz do Iguaçu, **Anais...**, Foz do Iguaçu: INPE, 2001. 1 CD-ROM.
- SCHROEDER, W.; FRANÇA, J.R. de A.; CEBALLOS, J.C. Análise da Evolução Temporal da Cobertura Vegetal Usando dados AVHRR/NOAA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999. Florianópolis, **Anais...**, Florianópolis: SBA, 1999. 1 CD-ROM.