

RELAÇÃO ENTRE O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO GLOBAL E CONDIÇÕES HÍDRICAS NO RIO GRANDE DO SUL¹

DENISE CYBIS FONTANA, MOACIR ANTONIO BERLATO e HOMERO BERGAMASCHI²

RESUMO - O índice de vegetação global (GVI) é o mais apropriado índice disponível capaz de detectar mudanças na quantidade e condição da vegetação em escalas regional e global. Esta singularidade é determinada pela cobertura diária global da Terra (satélite NOAA), disponibilidade de bandas espectrais próprias ao monitoramento da vegetação (sensor AVHRR) e ao pequeno volume de dados gerados. Os objetivos principais deste trabalho foram avaliar a capacidade do GVI de monitorar a vegetação agrícola nas condições climáticas do Rio Grande do Sul e estudar as relações entre GVI e condições hídricas. Foi utilizada uma série temporal de elementos meteorológicos e de imagens GVI, abrangendo o período de setembro de 1982 a maio de 1986. A evolução temporal do GVI evidenciou comportamento semelhante ao da curva-padrão de crescimento e desenvolvimento das culturas de primavera-verão na região, sendo possível utilizá-lo no monitoramento da vegetação agrícola na porção oeste do Estado do Rio Grande do Sul.

Termos de indexação: sensoriamento remoto, monitoramento de culturas.

RELATIONSHIP BETWEEN THE GLOBAL VEGETATION INDEX AND WATER CONDITIONS IN RIO GRANDE DO SUL

ABSTRACT - The global vegetation index (GVI) is nowadays the best available index to detect changes in vegetation quantity and conditions at regional and global scales. This is determined by the global daily coverage of the Earth (NOAA satellite), availability of appropriate spectral bands to monitor vegetation (AVHRR sensor) and the small number of generated data. The main objectives of this research were to evaluate the capability of GVI monitoring natural vegetation and crop status in the climatic conditions of the state of Rio Grande do Sul, Brazil, and to study the relationship between GVI and water conditions. Temporal series of meteorological elements and GVI images were utilized in weekly scales, from September 1982 to May 1986 period. The temporal evolution of GVI followed the standard growth and development spring-summer crops curve, allowing to use this index in crop monitoring in the west portion of the state of Rio Grande do Sul.

Index terms: remote sensing, crop monitoring.

INTRODUÇÃO

Os índices de vegetação representam uma técnica amplamente utilizada, na área do sensoriamento remoto, por indicarem a presença e condição da vegetação monitorada. O êxito da utilização destes índices de vegetação se fundamenta no fato de que a produção primária de uma comunidade vegetal tem

estreita relação com a energia solar absorvida, o que define o crescimento e o desenvolvimento dessa comunidade. As medidas de índice de vegetação têm, em geral, associação direta com a quantidade de biomassa, o índice de área foliar, a cobertura do solo, a interceptação da radiação e o rendimento agrícola (Millard et al., 1990; Rudorff & Batista, 1990a, 1990b; Antunes et al., 1993). O objetivo desta técnica é reduzir o total de dados espectrais, e realçar a contribuição espectral da vegetação verde, bem como minimizar a contribuição do solo, o ângulo solar, a vegetação senescente e a atmosfera. Os índices de vegetação são baseados em combinações lineares, razões ou transformações ortogonais de várias bandas espectrais.

¹ Aceito para publicação em 8 de novembro de 1997.
Projeto parcialmente financiado pelo CNPq.

² Eng. Agr., Dr., Fac. de Agronomia, UFRGS, Caixa Postal 776, CEP 91540-000 Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq. E-mail: dfontana@vortex.ufrgs.br

Entre os índices de vegetação atualmente existentes, encontra-se o índice de vegetação global (GVI), estabelecido a partir de uma amostragem temporal e espacial do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), usando as bandas 1 e 2 do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) do satélite NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). A amostragem temporal define que a imagem GVI seja composta por "pixels", geograficamente registrados, que correspondem ao maior índice de vegetação observado num período de sete dias consecutivos. O objetivo é diminuir a interferência da atmosfera no valor da reflectância do "pixel". Já a amostragem espacial, que visa a redução do volume de dados processados, especialmente importante em estudos regionais, determina uma resolução espacial do "pixel" de 15 km no Equador (Kidwell, 1990).

Com este satélite, que inicialmente foi concebido com o objetivo de monitorar a atmosfera e a superfície do mar, surgiu a possibilidade de contribuir no monitoramento da vegetação na superfície. As principais contribuições se referem à possibilidade de estudar vegetação regional, devido à grande faixa de imageamento deste sensor, e à possibilidade de um adequado acompanhamento da evolução da biomassa, tendo em vista a escala temporal do índice (Malingreau & Belward, 1992).

A partir de 1985, surgiram publicações apresentando os primeiros resultados utilizando o GVI para o monitoramento da vegetação global ou continental (Justice et al., 1985, 1986; Malingreau, 1986). Nos anos subsequentes, diversos foram os trabalhos publicados utilizando o NDVI proveniente do AVHRR/NOAA, determinados nas resoluções LAC (Local Area Coverage), GAC (Global Area Coverage) ou GVI (Kidwell, 1990). Na sua grande maioria, esses trabalhos foram realizados nas regiões semiáridas da África e da Ásia, regiões com grande variação de biomassa ao longo do ano (Justice et al., 1991; Rasmussen, 1992). Em condições brasileiras, Assad et al. (1988) e Batista et al. (1993) utilizaram dados provenientes do AVHRR para acompanhar o desenvolvimento da vegetação associada à precipitação ocorrida, visto que o crescimento e o desenvolvimento da vegetação são resultantes

das condições meteorológicas disponíveis durante o ciclo.

Os dados provenientes do GVI, segundo Malingreau (1986), representam a única fonte consistente de informações sobre culturas e vegetação natural, em escala regional e continental, propiciando o monitoramento da dinâmica sazonal da vegetação de regiões agrícolas e a detecção de anomalias no padrão normal. Numa perspectiva de longo prazo, o acúmulo desses dados fornece informações para documentar mudanças contínuas na biosfera, o que é especialmente importante, em face da crescente preocupação dos impactos das possíveis mudanças climáticas globais sobre o crescimento e distribuição da vegetação.

Os objetivos do presente trabalho foram avaliar a capacidade do índice de vegetação global monitorar a vegetação agrícola nas condições climáticas do Rio Grande do Sul, e estudar as relações entre GVI e condições hídricas.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo abrangeu o Estado do Rio Grande do Sul, localizado no extremo sul do Brasil, sendo delimitado pelas latitudes 27°4'49"S e 33°44'42"S e longitudes 49°42'22"W e 57°38'34"W. O Estado possui uma área total de 280.674 km², o que representa 3,3% da área total do território brasileiro.

Na análise foram utilizados dados meteorológicos decendiais provenientes de 28 estações da rede de estações agrometeorológicas da Fundação de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAGRO/SCT-RS). As observações compreenderam o período de setembro a maio de 1982/83, 1983/84, 1984/85 e 1985/86.

Foi calculado o balanço hídrico seqüencial, a cada dez dias, pelo método de Thornthwaite & Mather (1957), utilizando uma capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD) de 100 mm. A evapotranspiração de referência foi calculada pela equação Penman (1956), com saldo de radiação estimado sobre superfície gramada.

A caracterização da disponibilidade hídrica foi feita através da deficiência hídrica derivada do balanço hídrico, acumulada no período de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado (setembro a maio). Foram traçadas isolinhas de deficiência hídrica acumulada, pela interpolação espacial, empregando o método da auto-

-covariância espacial conhecido como Kriging (Cressie, 1991). A grade de interpolação utilizada foi de 200 linhas e 200 colunas, abrangendo o Rio Grande do Sul e a vizinhança definida por quadrantes, dentro da área total do Estado. Após a geração das isolinhas, foi colocada uma máscara com o contorno do Rio Grande do Sul, para que as isolinhas fossem restritas ao espaço ocupado pelo Estado.

Para o mesmo período foi utilizada uma seqüência de imagens semanais do GVI, doadas pelo "Joint Research Center of ISPR" (JRC) com as correções atmosférica, radiométrica e geométrica já introduzidas.

Os valores do contador digital dos "pixels" (CD), extraídos da seqüência de imagens, foram transformados em valores de índice de vegetação global (GVI) seguindo a equação (Kidwell, 1990):

$$GVI = ((240 - CD)/350) - 0,05. \quad (1)$$

A determinação das coordenadas de tela correspondentes às coordenadas geográficas dos 28 pontos amostrais (estações agrometeorológicas), foi feita aplicando-se um algoritmo de transformação por polinômio de segundo grau. A estimativa dos parâmetros da transformação foi feita pelo método dos mínimos quadrados, a partir da identificação das coordenadas de tela na imagem digital para alguns pontos cujas coordenadas geográficas eram conhecidas (Leitão, 1994).

Localizadas as coordenadas de tela para cada ponto amostral, foram, então, extraídos os valores dos contadores digitais de uma vizinhança composta pelos oito "pixels" mais próximos, cujo "pixel" central localizava-se sobre o ponto amostral. Esse conjunto de nove "pixels" é, geralmente, conhecido por janela amostral. O valor médio do contador digital para cada ponto amostral foi determinado a partir da média aritmética dos nove valores coletados nas janelas amostrais, calculando-se, depois, o coeficiente de variação.

Os valores de GVI foram expressos na forma de gráfico em função do tempo, obtendo-se os perfis espectrais para cada ponto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cálculo dos balanços hídricos meteorológicos realizados em todas as estações agrometeorológicas nos quatro anos agrícolas mostrou que os anos de 1982/83 e 1985/86 foram anos extremos em termos hídricos. O ano 1982/83 foi caracterizado pelo fenômeno "El Niño", com boas condições hídricas ao

desenvolvimento das culturas de primavera-verão e grandes enchentes em todo o Estado no período de outono-inverno. O impacto econômico e social do fenômeno foi abordado por Berlatto (1992), o qual apontou que o forte episódio "El Niño" impossibilitou a colheita de mais de 1,6 milhão de toneladas de grãos, com impacto econômico na produção agrícola estadual de 278 milhões de dólares. Mesmo sendo este um ano de excedentes hídricos, deficiências hídricas de pequena expressão ocorreram no período de setembro a maio. As deficiências variaram entre 40 e 160 mm, com os maiores valores situados no sul do Estado (Fig. 1). Já no ano de 1985/86 ocorreu o fenômeno inverso. O Estado foi submetido a uma intensa estiagem, cujos valores de deficiência foram acima de 400 mm em grande parte do Rio Grande do Sul (Fig. 2). Este fenômeno determinou perdas da ordem de 4,4 milhões de toneladas de grãos e um prejuízo de 590 milhões de dólares (Berlatto, 1992). Os anos de 1982/83 e de 1985/86 foram, portanto, escolhidos para a continuidade da análise da relação entre as condições



FIG. 1. Deficiências hídricas - balanço hídrico de Thornthwaite & Mather (1957), com 100 mm de capacidade de armazenamento de água disponível no solo - ocorridas no Rio Grande do Sul no período de setembro de 1982 a maio de 1983.

hídricas e o índice GVI, testando este índice como um integrador da condição da vegetação.

Para analisar a capacidade do índice GVI no monitoramento da vegetação, é fundamental que haja coerência entre a resolução espacial deste e o tipo de cobertura vegetal existente na superfície (tamanho, forma e distribuição de grupos vegetais). Ou seja, áreas agrícolas caracterizadas por pequenas propriedades onde há uma grande variação espacial do tipo de cobertura do solo, o índice GVI não é um instrumento adequado, dada a resolução "grosseira" deste índice (15 km x 15 km). Eidenshink & Haas (1992) testaram o coeficiente de variação dos "pixels" na janela amostral como um parâmetro capaz de medir a uniformidade dos recursos naturais na região de monitoramento. Os autores apontaram valores próximos a 10% como um limiar abaixo do qual a informação contida no índice GVI tem significado físico.



FIG. 2. Deficiências hídricas - balanço hídrico de Thornthwaite & Mather (1957), com 100 mm de capacidade de armazenamento de água disponível no solo - ocorridas no Rio Grande do Sul no período de setembro de 1985 a maio de 1986.

Na porção oeste do Estado, onde a atividade agrícola é intensa, foi analisada a evolução do GVI referente às localidades de Cruz Alta, Ijuí, Santo Augusto, São Borja e Quaraí. Os valores dos coeficientes de variação do GVI na janela amostral encontrados foram de 10,7%, 9,9%, 10,4%, 10,4% e 7,4%, respectivamente. Estes valores estão próximos ao limiar estabelecido por Eidenshink & Haas (1992), o que indica que nestas regiões há coerência entre a resolução espacial do índice GVI e o tipo de exploração agrícola.

As localidades de Cruz Alta, Ijuí e Santo Augusto, situadas na região maior produtora de soja no Rio Grande do Sul, apresentaram comportamentos similares em termos de evolução do GVI (Fig. 3). As semelhanças entre a curva de evolução do GVI e a curva de crescimento e desenvolvimento da cultura da soja na região foi evidente. No ano com boa disponibilidade hídrica (1982/83), o valor máximo de GVI foi maior (acima de 0,4), e ocorreu mais precocemente (fevereiro). No ano com menor disponibilidade hídrica (1985/86), o máximo GVI ocorreu em março, atingindo níveis menores do que os anteriores. A evolução do GVI foi coerente com o esperado como resposta da biomassa ao fator hídrico. Valores máximos reduzidos e mais tardios do GVI em resposta à deficiência hídrica foram, também, observados por Malingreau (1986) e Batista et al. (1993).

São Borja e Quaraí (Fig. 4) representam as porções do Estado caracterizadas principalmente pela pecuária extensiva. Nos perfis espectrais dessa região não se evidenciou curva semelhante às curvas das culturas agrícolas anuais, mas sim, uma pequena variação temporal no período compreendido de setembro a maio. A deficiência hídrica foi fator redutor dos índices GVI's. No ano 1985/86, a redução em GVI foi da ordem de 40% no mês de janeiro, quando ocorreram as maiores deficiências hídricas.

A evolução temporal do GVI apresentou, portanto, associação com a evolução temporal da biomassa nas regiões testadas, mostrando-se útil no monitoramento da evolução temporal da vegetação nas condições climáticas do Rio Grande do Sul. Mapas com a distribuição espacial dos principais

grupos vegetais em níveis local, regional ou global, são normalmente disponíveis (Savia, 1983; Miller, 1990).

A contribuição singular introduzida com o uso do GVI reside na capacidade de monitoramento da

evolução das condições da biomassa agrícola em tempo real. Esta informação, no contexto agrícola, permite o monitoramento para fins de previsão de safras, assim como o acompanhamento da expansão e retração de fronteiras agrícolas.

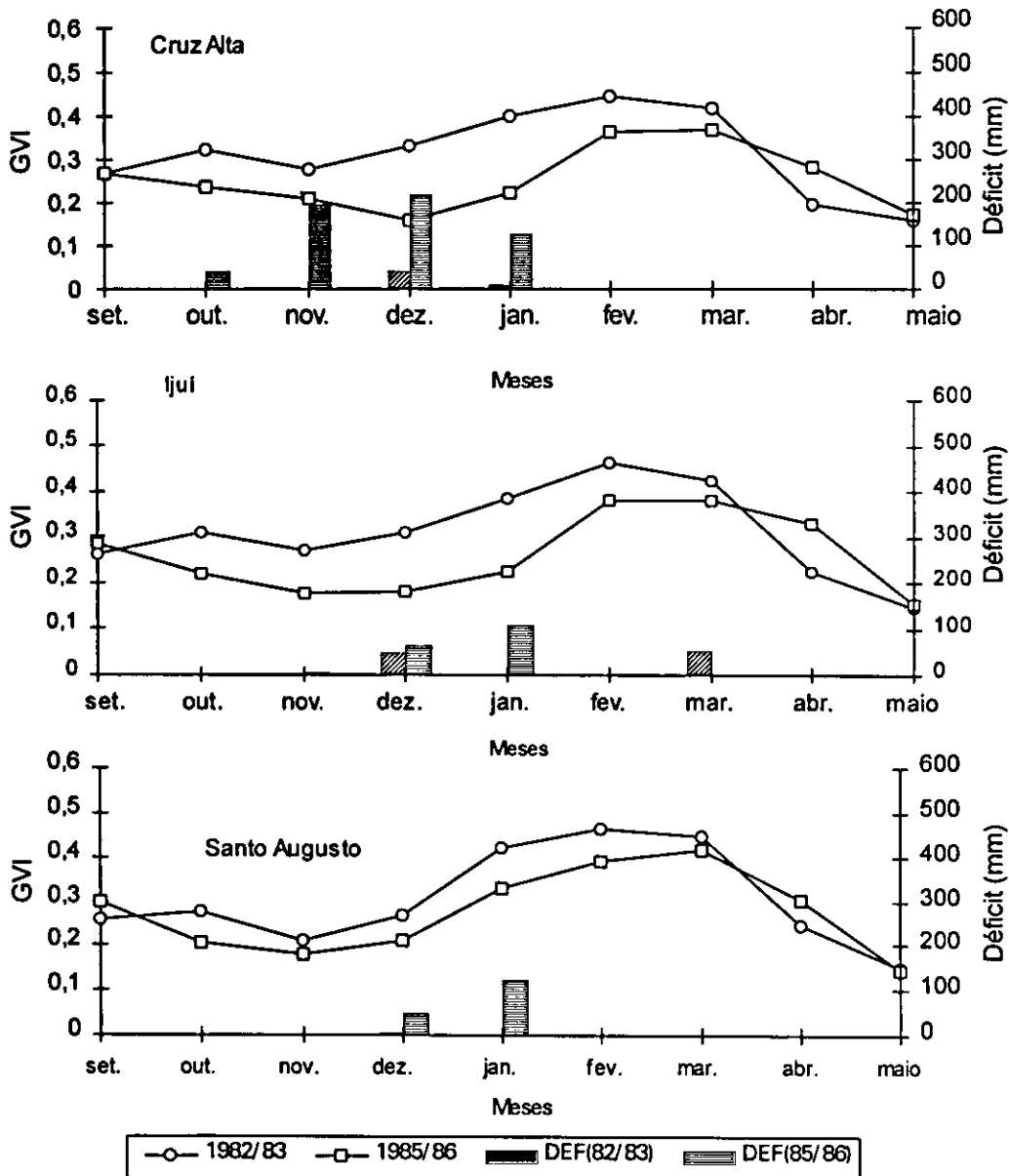


FIG. 3. Índice de vegetação global (GVI) e déficit hídrico em Cruz Alta, Ijuí e Santo Augusto, período 1982/86.

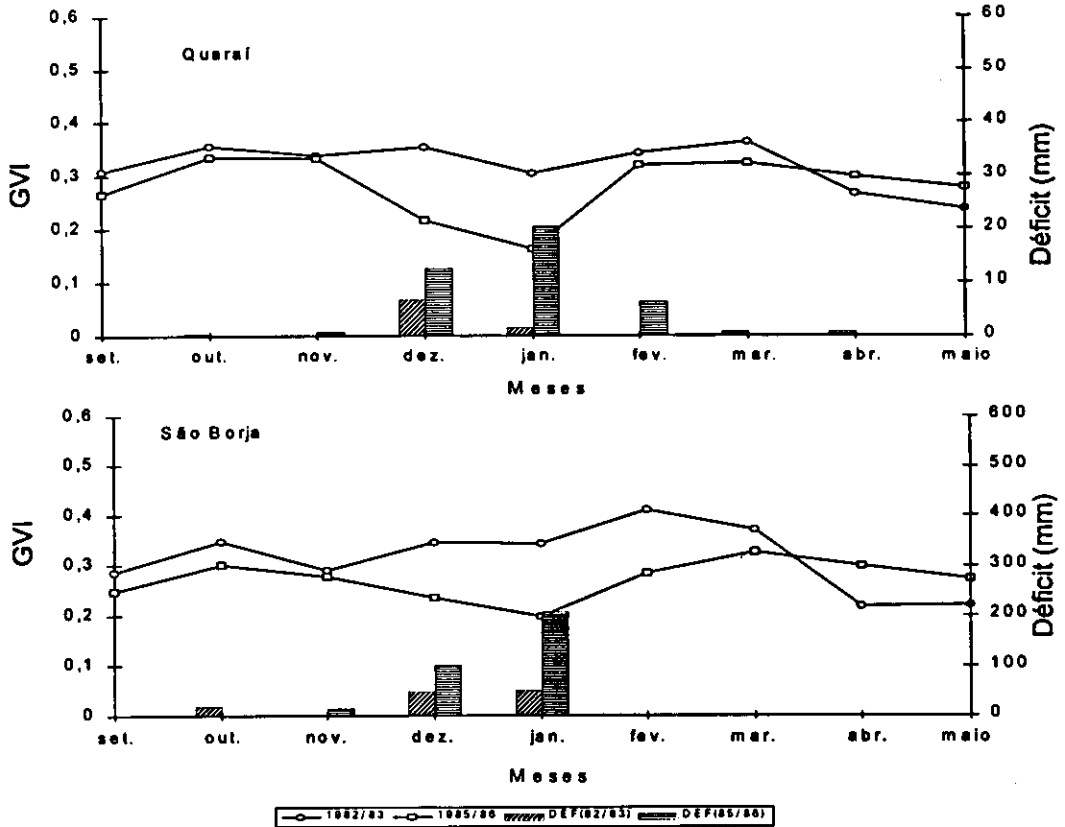


FIG. 4. Índice de vegetação global (GVI) e déficit hídrico em Quarai e São Borja, período 1982/86.

CONCLUSÕES

1. A evolução temporal do índice de vegetação global (GVI) evidencia comportamento semelhante ao da curva padrão de crescimento e desenvolvimento de culturas de primavera-verão na região.

2. É possível utilizar o índice GVI para monitorar a evolução da biomassa agrícola na região oeste do Estado do Rio Grande do Sul, onde há coerência entre a resolução espacial do GVI e o tipo de exploração agrícola.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAGRO-SCT-RS) pelo fornecimento dos dados meteorológicos e ao "Joint

Research Center of ISPRA" (JRC), Itália, pelo fornecimento das imagens GVI.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, M.A.H.; ASSAD, E.D.; BATISTA, G.T. Variação das medidas espectrais tomadas com espectrorradiômetro ao longo do ciclo de crescimento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. Anais... Curitiba: INPE, 1993. p.1-9.
- ASSAD, E.D.; SETZER, A.; MOREIRA, L. Estimativa da precipitação através dos índices de vegetação do satélite NOAA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1988, Natal. Anais... Natal: INPE, 1988. p.425-429.

- 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 SENSORIA-
MENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. *Anais...* Curitiba: INPE, 1993. p.30-37.
- BERLATO, M.A. The climate applications in the decision-making process for the Southern Region of Brazil. In: WORKSHOP ON ENSO AND SEASONAL TO INTERANNUAL CLIMATE VARIABILITY, SOCIO-ECONOMIC IMPACTS, FORECASTING AND APPLICATIONS TO THE DECISION-
-MAKING PROCESS, 1992, Florianópolis. *Report...* Florianópolis: INPE, 1992. p.14-16.
- CRESSIE, N. *Statistical for spatial data*. New York: Willey & Sons, 1991. Ch. 9, 900p.
- EIDENSHINK, J.C.; HAAS, R.H. Analyzing vegetation dynamics of land systems with satellite data. *Geocarto International*, Hong Kong, v.1, p.53-61, 1992
- JUSTICE, C.O.; HOLBEN, B.N.; GWYNNE, M.D. Monitoring East African vegetation using AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v.7, p.1453-1474, 1986.
- JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G.; HOLBEN, B.N.; TUCKER, C.J. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v.6, p.1271-1318, 1985.
- JUSTICE, C.O.; TOWNSHEND, J.R.G.; KALB, V.L. Representation of vegetation by continental data sets derived from NOAA-AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v.12, p.999-1021, 1991.
- KIDWELL, K.B.C. *Global vegetation index: user guide*. Washington: US Department of Commerce, 1990. 40p.
- LEITÃO, R.S. *Astrometeorologia do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS, Programa de Pós-graduação em Geodésia, 1994. 112p. Dissertação de Mestrado.
- MALINGREAU, J.P. Global vegetation dynamics: satellite observations over Asia. *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v.7, p.1121-1146, 1986.
- MALINGREAU, J.P.; BELWARD, A.S. Scale considerations in vegetation monitoring using AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v.13, p.2289-2307, 1992.
- MILLARD, P.; WRIGHT, G.G.; ADAMS, M.J.; BIRNIC, R.V.; WHITWORTH, P. Estimation of light interception and biomass of the potato (*Solanum tuberosum* L.) from reflection in the red and near-infrared spectral bands. *Agricultural Forest and Meteorology*, Amsterdam, v.53, p.19-31, 1990.
- MILLER, G.T.J. *Living in the environment*. Belmont: Wadsworth, 1990. 620p.
- PENMAN, H.L. Evaporation: an introductory survey. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Wageningen, v.4, p.9-29, 1956.
- RASMUSSEN, M.S. Assessment of millet yields and production in northern Burkina Faso using integrated NDVI from the AVHRR. *International Journal of Remote Sensing*, Basingstoke, v.13, p.3431-3442, 1992.
- RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. Spectral response of wheat and its relationship to agronomic variables in the tropical region. *Remote Sensing of Environmental*, New York, v.31, p.53-63, 1990a.
- RUDORFF, B.F.T.; BATISTA, G.T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. *Remote Sensing of Environmental*, New York, v.33, p.183-192, 1990b.
- SAVIA, F.L. *Mapa da vegetação original atual e ação antrópica do estado do Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro: IBGE, 1983. Escala 1:1000000.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1957. 311p. (Publications in Climatology, 10).