

MODELO AGROMETEOROLÓGICO-ESPECTRAL DE ESTIMATIVA DE RENDIMENTO DA SOJA PARA O ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

RICARDO WANKE DE MELO¹

DENISE CYBIS FONTANA¹

MOACIR ANTONIO BERLATO¹

¹UFRGS - Faculdade de Agronomia

Caixa Postal 776 – 91501-970 – Porto Alegre – RS, Brasil.

wanke@zipmail.com.br, dfontana@vortex.ufrgs.br, moacir.berlato@ufrgs.br

Abstract. The objective of this study was to fit and validate an agrometeorological-spectral model to estimate soybean yield in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. The fitness was done using agrometeorological model (meteorological data from 1975 to 2000 of the seven weather stations located in the major soybean production region), spectral data (NDVI/NOAA images from 1982 to 2000) and soybean yield averaged over the State (official governmental statistics from 1975 to 2000). The parameters of the agrometeorological-spectral model were obtained through a linear multiple regression of the addition of agrometeorological term and spectral term. The model showed a good fit, with determination coefficient of 0,91. The model validation, done with independent data, had also a good performance, with determination coefficient of 0,88. The agrometeorological-spectral model produces the yield estimations before the end of the harvest with objectivity, swiftness and low cost, and could be incorporated into crop forecasting programs.

Keywords: soybean, crop yield estimation, NDVI, Rio Grande do Sul.

1. Introdução

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é uma leguminosa que tem grande importância econômica e social no Rio Grande do Sul. O Estado é um dos maiores produtores e exportadores de grãos do Brasil, tendo no ano agrícola 2000/2001 produzido 6.935 mil toneladas de soja, com um rendimento médio de 2.339 kg/ha (EMATER, 2002). Neste contexto, a previsão de safra da soja no Estado é fundamental à tomada de decisões para o planejamento, definição de prioridades, estabelecimento da política de preços e para o manejo dos estoques reguladores do Governo Federal e do parque instalado para o armazenamento da produção.

Atualmente, a estimativa do rendimento, assim como da área cultivada e produção, é obtida através da aplicação de questionários à parte dos agricultores ou a entidades relacionadas à atividade agrícola. Reuniões mensais são realizadas para avaliação dos dados coletados. A estimativa é obtida através da reunião de dados de diversas regiões, o que é uma metodologia lenta, onerosa e subjetiva. O desenvolvimento de métodos que permitam uma obtenção rápida e objetiva das estimativas de rendimento da cultura da soja é, portanto, de grande importância.

Segundo Berlato e Fontana (1999), os rendimentos médios da cultura da soja no Estado, mostram alta variabilidade interanual, como consequência da também alta variabilidade interanual da precipitação pluvial. Neste mesmo sentido, Cunha e Bergamaschi (1992) determinaram que o déficit hídrico, dentre os componentes limitantes ao desenvolvimento das culturas no Rio Grande do Sul, é aquele que afeta a produção agrícola com maior frequência e intensidade, sendo que a falta de água em momentos críticos do desenvolvimento das plantas pode influenciar direta e negativamente na produção de grãos. Dada a relação conhecida entre expressões da disponibilidade hídrica e o crescimento, desenvolvimento e rendimento final de grãos, este fator pode ser utilizado na modelagem do rendimento da soja. Um enfoque possível é avaliar a disponibilidade hídrica através das condições meteorológicas e/ou através do desenvolvimento das plantas.

Diferenças nos níveis de disponibilidade hídrica podem ser detectados através de sensores remotos, pois afetam o padrão de crescimento e, portanto, de reflectância da cultura. Assim, as propriedades espectrais contidas em imagens de satélites, especialmente aqueles com alta resolução temporal como é dos sensores a bordo dos satélites da série NOAA (Masseli et al. 1993) podem ser utilizadas para o monitoramento das condições de crescimento da vegetação ao longo do ciclo da cultura, assim como para estimar seu rendimento.

Modelos que utilizam elementos meteorológicos são denominados modelos agrometeorológicos. Já aqueles que utilizam dados obtidos por satélites são denominados modelos espectrais. O uso integrado destes dois componentes gera os ditos modelos agrometeorológico-espectrais, os quais podem incorporar mais objetividade e economia ao sistema de previsão de safras. Segundo Rudorff e Batista (1990), nestes modelos o componente agrometeorológico expressa as condições de radiação solar incidente, temperatura e umidade do ar e disponibilidade hídrica, enquanto que o componente espectral expressa as diferenças de práticas de manejo, cultivares, profundidade do sistema radicular e estresses não incluídos no modelo agrometeorológico.

O objetivo deste trabalho foi ajustar e validar um modelo agrometeorológico-espectral de estimativa do rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul, que seja objetivo, prático e econômico, para ser incorporado em programas de previsão de safras.

2. Material e métodos

O modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento de soja foi concebido pela adição de dois termos, o agrometeorológico e o espectral:

$$Y = a + b x_1 + c x_2 \quad (1)$$

onde, x_1 corresponde ao termo agrometeorológico e x_2 corresponde ao termo espectral.

O termo agrometeorológico foi obtido pelo ajuste do modelo multiplicativo de Jensen (1968), modificado por Berlato (1987), no qual a variável independente é o consumo relativo de água, dado por:

$$\frac{Y}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ETr}{ETo} \right)_i^{\lambda_i} \quad (2)$$

onde Y é o rendimento médio estimado, Y_m é o máximo rendimento observado na série estudada, ETr/ETo é o consumo relativo de água (razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração de referência) em cada período i e λ_i é o expoente que expressa a sensibilidade relativa da planta ao déficit hídrico durante o período i .

Os valores observados de rendimentos foram obtidos das estatísticas oficiais do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), sendo que o rendimento máximo verificado foi de 2088 kg/ha. Os expoentes (λ_i) foram obtidos através do ajuste da equação de regressão múltipla das transformadas logarítmicas do rendimento relativo (Y/Y_m) e da disponibilidade hídrica (ETr/ETo) na equação (2), passando pela origem. No ajuste deste modelo, foram utilizados dados de 7 estações meteorológicas (Cruz Alta, Erechim, Iraí, Júlio de Castilhos, Passo Fundo, Santa Rosa e São Luiz Gonzaga), localizadas na região maior produtora de grãos de soja no Rio Grande do Sul, pertencentes à rede do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e à FEPAGRO (Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul). Os dados meteorológicos (temperaturas máxima, mínima e média, umidade relativa, velocidade do vento, precipitação pluvial e insolação) foram utilizados para calcular os valores de ETo , através do método de Penman (1956), e ETr ,

através do balanço hídrico meteorológico de Thornthwaite-Mather (1955), utilizando uma Capacidade de Água Disponível (CAD) de 75mm. Os valores mensais de ETr/ETo, calculados em cada estação meteorológica, foram espacializados na região de estudo, para cada mês, e transformados em imagens de ETr/ETo e, pela aplicação da equação (2), em imagens de estimativa de rendimento através do termo agrometeorológico. A aplicação do termo agrometeorológico gera potencialmente regiões de super e subestimativa de rendimentos, pois a regressão para a determinação dos expoentes que indicam a sensibilidade da cultura ao déficit hídrico de cada período foi realizada sobre um único valor máximo de rendimento médio para toda a região. Este efeito foi minimizado através da multiplicação das imagens de estimativa do rendimento através do termo agrometeorológico por um fator de correção aplicado *pixel a pixel*. O valor do fator de correção de cada *pixel* foi obtido pela média das razões entre os rendimentos estimados pelo termo agrometeorológico e os rendimentos observados em cada ano da série de ajuste. Do período de 26 anos de dados, compreendido entre 1975 e 2000, foram sorteados cinco anos para a validação do modelo (1982, 1985, 1990, 1991 e 1997), sendo os anos restantes utilizados para o ajuste do mesmo.

O segundo termo do modelo proposto (equação 1), o termo espectral, foi obtido de imagens de máximo NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) mensal, obtidas pelo sensor AVHRR/NOAA, adquiridas do Clark Labs da Clark University (USA), com as correções radiométricas e geométricas já processadas. As imagens, no período de 1982 a 2000, tendo sido gerada uma subimagem com 86 colunas e 72 linhas, com uma resolução espacial de 9x9 km, cobrindo todo o Estado do Rio Grande do Sul. O termo espectral foi definido pela média do NDVI máximo mensal dos meses com maiores correlações com os rendimentos observados. O rendimento de grãos da soja foi determinado pela equação (1), tendo sido utilizado para o ajuste do mesmo o período de 1982 a 2000, excetuando-se o ano de 1995, por não apresentar disponibilidade de imagens de satélite e para a validação os anos coincidentes com os utilizados para a validação do termo agrometeorológico.

Após a obtenção das imagens de estimativas de rendimento da soja, foram calculados os desvios entre as estimativas e os rendimentos observados. Os desvios das estimativas foram calculados para cada *pixel* em cada ano, os quais foram representados na forma de imagens e de histogramas. Foram, por fim, calculadas as médias dos desvios para os períodos de ajuste e validação do modelo.

3. Resultados e discussão

Os meses que apresentaram maiores correlações entre a disponibilidade hídrica (ETr/ETo) e os rendimentos da soja observados foram janeiro, fevereiro e março, com valores de 0,74, 0,51 e 0,61 respectivamente. Estes meses coincidem com o período de florescimento e enchimento de grãos da cultura da soja, considerados períodos críticos à deficiência hídrica. Os expoentes (λ_i) ajustados para a equação (2) são apresentados na **Tabela 1**.

O coeficiente de determinação (R^2) obtido no ajuste do modelo agrometeorológico foi de 0,73, indicando que a disponibilidade hídrica é o fator que mais interfere na definição dos rendimentos da soja no Rio Grande do Sul, conforme apontado por Cunha e Bergamaschi (1992) e Berlatto e Fontana (1999). Os expoentes do termo agrometeorológico indicam o grau de sensibilidade da cultura ao déficit hídrico em um dado período. Quanto maior o expoente, maior a sensibilidade da planta ao déficit hídrico, isto é, a ocorrência de estiagem no período pode acarretar em maior redução no rendimento final. Observa-se no modelo ajustado (**Tabela 1**) que o mês de março apresentou o maior expoente (0,475), coincidindo com a fase em que a cultura da soja encontra-se

em enchimento de grãos. Berlato (1987), Berlato e Fontana (1999) e Fontana et al. (2001) também encontraram o mês de março como o de maior importância na definição dos rendimentos desta cultura.

Tabela 1. Estatísticas dos expoentes estimados para o termo agrometeorológico do modelo de estimativa de rendimento da cultura da soja no Rio Grande do Sul. Período 1975-2000.

Mês	Expoente ($\hat{\epsilon}$)	Probabilidade (p)
Janeiro	0,401	0,0001
Fevereiro	0,192	0,1536
Março	0,475	0,0025

O termo espectral, dado pelo NDVI, é uma expressão da densidade da cobertura vegetal, através da qual pode ser acompanhado o desenvolvimento das plantas. Índices de vegetação maiores, teoricamente, estão associados a maiores rendimentos finais. A introdução do termo espectral ao modelo agrometeorológico teve por objetivo introduzir outras variáveis que afetam o rendimento final de grãos, além da disponibilidade hídrica. Os valores de índices de vegetação dependem, entre outros fatores, da fertilidade do solo, do manejo utilizado, do ataque de pragas e moléstias e da cultivar utilizada. Neste estudo, os meses em que os valores de NDVI apresentaram maiores correlações com os rendimentos observados foram dezembro e janeiro de cada ano agrícola, sendo os valores destas correlações de 0,42 e 0,52 respectivamente. Fontana et al. (1985) relacionando rendimentos da soja e GVI (Índice de Vegetação Global) no Rio Grande do Sul, verificaram uma correlação próxima a 0,77 para os mesmos meses. Os autores trabalharam, entretanto, com somente 4 anos agrícolas.

O modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento da soja para o Rio Grande do Sul obtido foi: $Y = -2634,87 + (1,08 * TA) + (4634,20 * TE)$ (3)
onde: Y é o rendimento médio da cultura da soja estimado pelo modelo agrometeorológico-espectral (kg/ha); TA é o valor do termo agrometeorológico (kg/ha) e TE é o valor do termo espectral (NDVI).

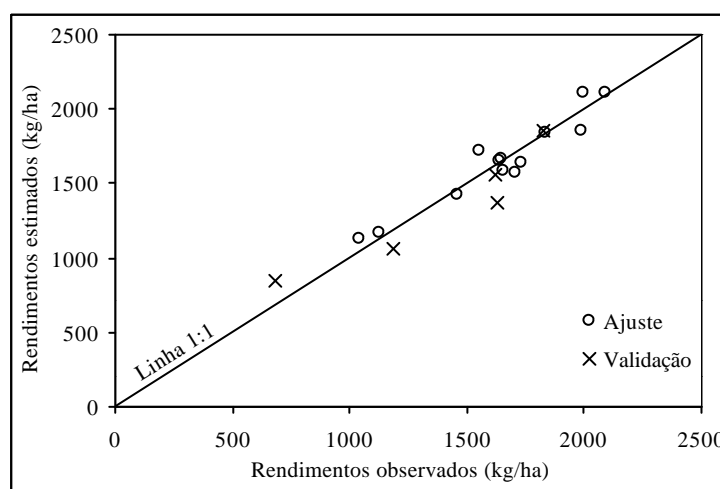


Figura 1. Rendimentos de grãos da soja estimados pelo modelo agrometeorológico-espectral em função dos rendimentos observados, considerando os períodos de ajuste e validação. Rio Grande do Sul, período 1975-2000.

A **Figura 1** mostra que o desempenho do modelo agrometeorológico-espectral foi muito bom em grande parte da faixa de variação dos valores observados de rendimento de grãos de soja, dado pela uniformidade na distribuição dos pontos em relação à linha 1:1, tanto no período de ajuste como no período de validação do modelo. O coeficiente de determinação (R^2) do ajuste deste modelo foi de 0,91, enquanto que o da validação foi de 0,88. Nas **Figuras 2 e 3** são apresentadas as freqüências de ocorrência dos desvios entre os rendimentos estimados e observados. Observa-se que 90% dos desvios de estimativa, no período de ajuste, ficaram abaixo de 250 kg/ha, sendo que a média dos desvios neste período foi de 205,03 kg/ha. Já no período de validação, 90% dos desvios das estimativas de rendimento ficaram abaixo de 300 kg/ha, sendo que a média dos desvios deste período foi de 207,83 kg/ha

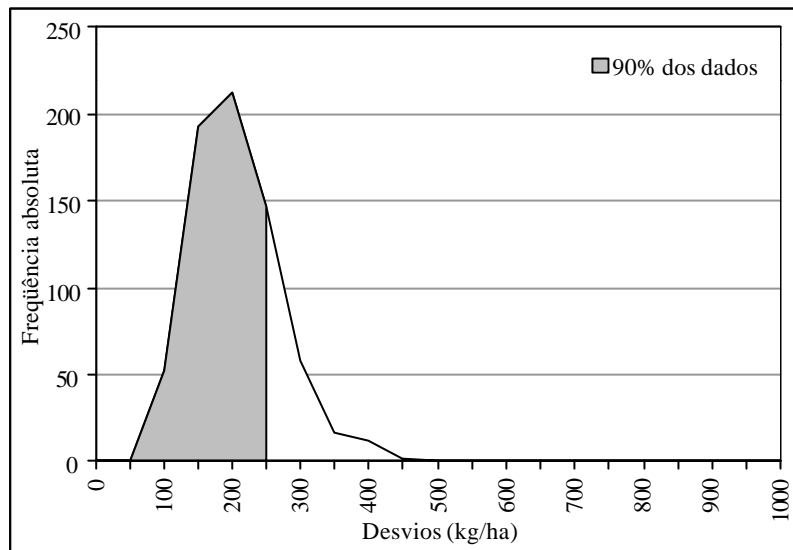


Figura 2. Frequência de ocorrência dos desvios de estimativa de rendimento de soja pelo modelo agrometeorológico-espectral no período de ajuste. Rio Grande do Sul, período 1982-2000.

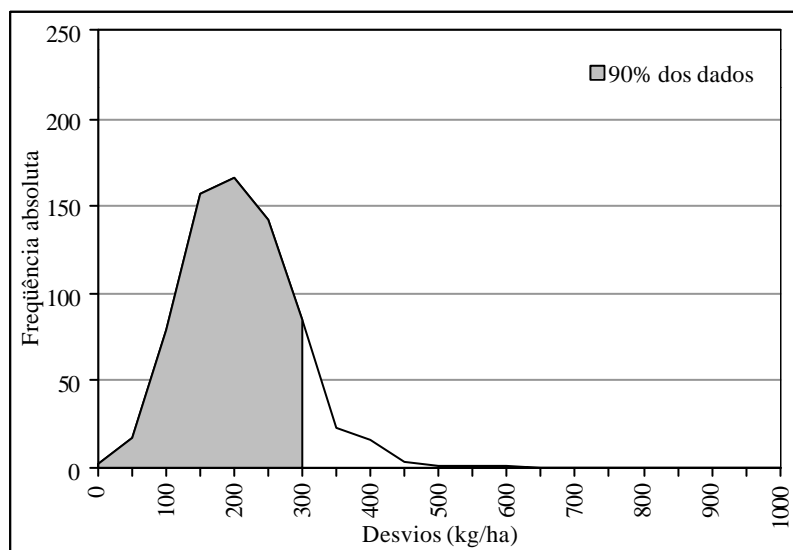


Figura 3. Frequência de ocorrência dos desvios de estimativa de rendimento de soja pelo modelo agrometeorológico-espectral no período de validação. Rio Grande do Sul, período 1982-2000.

Metodologia semelhante foi utilizada anteriormente por Rudorff e Batista (1990) e por Fontana et al. (1998). Rudorff e Batista (1990) encontraram coeficientes de determinação que variaram de 0,50 a 0,69 trabalhando com lavouras comerciais de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Fontana et al. (1998), trabalhando com soja no Rio Grande do Sul, verificaram que o modelo agrometeorológico-espectral explicou 55,2 % da variação do rendimento desta cultura. Salientaram, contudo, que os resultados destes trabalhos eram preliminares, dado o pequeno número de anos com imagens de satélite utilizadas.

Salienta-se que o modelo agrometeorológico-espectral obtido tem caráter preditivo, visto que em ambos os termos do modelo, agrometeorológico e espectral, são utilizados dados até o mês de março. Assim, em meados de abril, cerca de 1 mês antes da colheita, é possível gerar a informação do rendimento estimado de soja no Rio Grande do Sul.

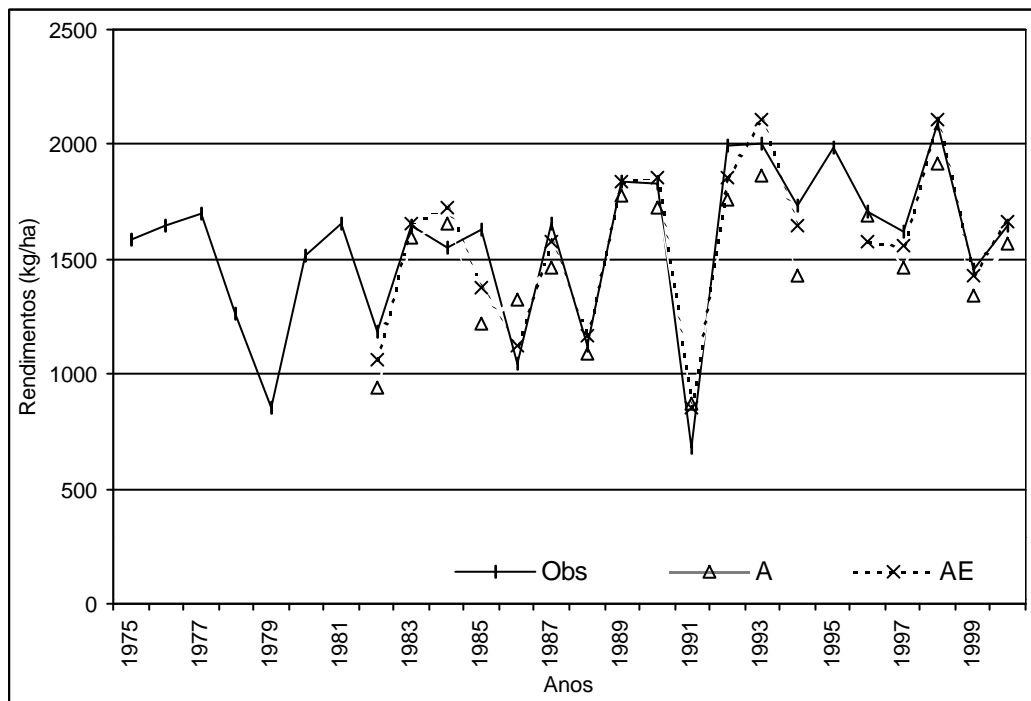


Figura 4. Estimativas de rendimento da soja no Rio Grande do Sul obtidas pelo Termo Agrometeorológico (A), pelo Modelo agrometeorológico-espectral (AE) comparadas ao rendimento observado (Obs) ao longo da série estudada.

A **Figura 4** mostra o desempenho das estimativas de rendimento pelo termo agrometeorológico e pelo modelo agrometeorológico-espectral comparadas aos rendimentos observados durante o período estudado. Nota-se que os rendimentos estimados acompanham a alta variabilidade interanual dos rendimentos observados no Rio Grande do Sul. Comparando-se os resultados do termo agrometeorológico com os resultados obtidos pelo modelo agrometeorológico-espectral, percebe-se que a introdução do termo espectral proporcionou uma redução nos desvios das estimativas. Verifica-se que em dois períodos, de 1987 a 1992 e de 1997 a 2000, as linhas dos rendimentos apresentaram grande similaridade, chegando muito próximas da sobreposição.

4. Conclusões

O modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento de soja apresentou bom desempenho, possibilitando a confecção do mapa de estimativas de rendimento de soja para a região maior produtora de grãos do Estado do Rio Grande do Sul.

A aplicação do modelo agrometeorológico-espectral permite que as estimativas sejam obtidas antes do final da colheita, o que confere ao mesmo um caráter preditivo. Além disso, a obtenção das estimativas atende as necessidades de rapidez, objetividade e baixo custo de aplicação.

Referências

- Berlato, M.A. *Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja e deficiência hídrica para o Estado do Rio Grande do Sul*. São José dos Campos: INPE, 1987. 103f. Tese (Doutorado em Meteorologia) Pós Graduação Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.
- Berlato, M.A.; Fontana, D.C. Variabilidade interanual de precipitação pluvial e rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.7, n.1, p.119-125. 1999.
- Cunha, G.R.; Bergamaschi, H. Efeitos da disponibilidade hídrica sobre o rendimento das culturas. In: Bergamaschi, H. (Coord.) *Agrometeorologia aplicada à irrigação*. Porto Alegre, Ed. da Universidade - UFRGS, 1992. p.85-97.
- EMATER-RS. *Informativo conjuntural*. Porto Alegre, RS, 2002. Disponível em <http://www.emater.tche.br>.
- Fontana, D.C. *Índice de vegetação global para o monitoramento da vegetação e sua correlação com elementos agrometeorológicos e rendimento de grãos de soja*. Porto Alegre, 1995. Tese (Doutorado em Fitotecnia - Agrometeorologia). Fac. de Agronomia, UFRGS. 1995. 133p.
- Fontana, D.C.; Berlato, M.A.; Bergamaschi, H. Relação entre o índice de vegetação global e condições hídricas no Rio Grande do Sul. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.33, n.8, p.1399-1405. 1998.
- Fontana, D.C.; Berlato, M.A.; Lauschner, M.H.; Melo, R.W. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 36, n. 3, p. 399-403, mar. 2001.
- Jensen, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowsky, T.T.; (Ed.) *Water deficits and plant growth*. New York: Academic Press, 1968. v.2, p.1-22.
- Masseli, F.; Conese, C.; Petkov, L.; Gilabert, M.A. Environmental monitoring and crop forecasting in the Sahel through the use of NOAA NDVI data. A case study: Niger 1986-89. *International Journal of Remote Sensing*. v.14, n.18, p.3471-3487. 1993.
- Penman, H.L.; *Evaporation: an introductory survey*. Neth. J. Agric. Sci., 4:9-29. 1956.
- Rudorff, B.F.T.; Batista, G.T. Yield estimation of sugarcane based on agrometeorological-spectral models. *Remote Sensing of Environment*, v.33, p.183-192. 1990.
- Thorntwaite, C.W.; Mather, J.R. The water budget and its use in irrigation. *The yearbook of agriculture*, Washington, D.C. p.346-58. 1955.