

# Modelo agrometeorológico-espectral para a estimativa do rendimento de soja no Rio Grande do Sul: um estudo preliminar

DENISE CYBIS FONTANA<sup>1</sup>  
MOACIR ANTONIO BERLATO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UFRGS-Fac.de Agronomia, Dep. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia  
Caixa Postal 776, 91450 000 Porto Alegre, RS, Brasil  
{dfontana@vortex.ufrgs.br}

## Abstract.

The objective of this study was to evaluate the performance of a yield estimation model for soybean in the state of Rio Grande do Sul using in conjunction agrometeorological and spectral data. The study was carried out at the major soybean production area in the State, during the period from 1982/83 to 1985/86. The soybean yield was estimated by an agrometeorological-spectral model on the form:  $Y = a_0 + a_1(GVI) + a_2(Y_{agromet})$ , where GVI is the global vegetation index,  $Y_{agromet}$  is the soybean yield estimated by agrometeorological model and  $a_0$ ,  $a_1$  and  $a_2$  are the regression coefficients. The results showed that the water availability is the main factor responsible for variations in soybean yield. The agrometeorological and agrometeorological-spectral models can be used to monitor and predict soybean yield in Rio Grande do Sul.

**Keywords:** Agrometeorological-spectral model, yield, soybean.

## 1. Introdução.

A agricultura no Estado do Rio Grande do Sul é caracterizada pela predominância de culturas de primavera-verão, as quais respondem por mais de 90% da produção total de grãos do Estado, assim como pela predominância de cultivo em condições de sequeiro, ou seja, sem suplementação hídrica por irrigação. As culturas de maior expressão são a soja e o milho que, juntas, representam 70% da área cultivada e respondem por mais de 60% da produção total de grãos do Rio Grande do Sul. Neste contexto, diversos trabalhos têm demonstrado (Berlato, 1992; Matzenauer et al., 1995a; entre outros) a alta correlação entre as condições atmosféricas durante o período de crescimento e de desenvolvimento das culturas e a produção agrícola do Estado.

Dentre os componentes que caracterizam a condição atmosférica, o déficit hídrico é aquele que afeta a produção agrícola com maior frequência e intensidade. É amplamente conhecido, ainda, que os efeitos do déficit hídrico dependem da sua intensidade, duração, época de ocorrência e da interação com outros fatores determinantes da expressão do rendimento final (Cunha e Bergamaschi, 1992). O déficit hídrico afeta praticamente todos os aspectos relacionados ao

desenvolvimento das plantas, reduzindo a área foliar, diminuindo a fotossíntese e afetando vários outros processos, além de alterar o ambiente físico das culturas (Fontana et al. 1992). Berlato e Fontana (no prelo) mostrou que os baixos rendimentos da cultura da soja no Rio Grande do Sul, estão relacionados aos anos em que ocorrem deficiências hídricas durante os meses de desenvolvimento da cultura, sendo que o total de chuva de dezembro a março explica cerca de 80% da variação interanual dos rendimentos médios de soja no Estado.

Modelos que relacionam o rendimento de grãos com variáveis meteorológicas têm sido desenvolvidos, com a finalidade de estabelecer funções de predição do rendimento (Jensen, 1968; Berlato, 1987; Matzenauer et al., 1995b; Barni, 1994). Grande parte dos modelos propostos utilizam, como variável independente, alguma expressão da disponibilidade hídrica, como precipitação, transpiração, evapotranspiração ou razões entre esses elementos. Berlato (1987) propôs um modelo de estimativa do rendimento da soja no Rio Grande do Sul, no qual é utilizada a razão entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração de referência (consumo relativo de água), sendo atribuído pesos diferentes para os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura de acordo com a sensibilidade relativa da planta ao déficit hídrico. No caso da soja o período reprodutivo é o de maior sensibilidade e que, portanto, assume maior peso. Apesar do autor ter obtido um ótimo ajuste do modelo agrometeorológico ( $r^2=0,91$ ), seu trabalho apresenta a limitação do uso de dados provenientes de parcelas experimentais. A utilização desse modelo para a estimativa do rendimento da soja em nível estadual ainda deve ser estudada, principalmente por que, nessas condições, fatores como diferenças de cultivares, manejo, tipo de solo, fertilidade, ocorrência de pragas, etc devem ser de alguma forma incorporadas ao modelo de predição.

Parte dessas questões podem ser resolvidas a partir da incorporação de um termo espectral, representado pelo índice de vegetação, ao modelo agrometeorológico. Os índices de vegetação são baseados em combinações lineares, razões ou transformações ortogonais de várias bandas espectrais, tendo como principal objetivo o de realçar vegetação verde em relação a outros alvos de uma cena. Os índices de vegetação são utilizados, ainda, para indicar a condição da vegetação monitorada, pois se fundamentam 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 da mesma. Em geral, a utilização do índice de vegetação integrado num determinado período do desenvolvimento das culturas, ou ainda, em todo o seu ciclo, tem gerado boas relações com parâmetros agrônômicos, como rendimento, pois comtemplam a história da evolução da biomassa (Masseli et al., 1992; Rasmussen, 1992).

A busca de estimativas de rendimento de grãos das culturas com certo grau de acuracidade, utilizando sensoriamento remoto, representa um avanço importante na procura de formas objetivas de previsão de colheitas. O sensor AVHRR/NOAA pode representar uma ferramenta única neste contexto, devido seu caráter regional e diário de monitoramento (Fontana, 1995).

Entre os diversos índices de vegetação atualmente existentes, pode-se utilizar no monitoramento da vegetação o índice de vegetação global (GVI), o qual é 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/NOAA. 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 que visa diminuir a interferência da atmosfera no valor da reflectância do “pixel”. Já a amostragem espacial, que visa a redução do volume de dados processados, determina uma resolução espacial do “pixel” de 15 km no Equador (Kidwell, 1990).

A incorporação do índice de vegetação ao modelo agrometeorológico, segundo Rudorff e Batista (1990), não pode ser feita de forma multiplicativa, pois o índice de vegetação não é independente dos fatores utilizados no modelo agrometeorológico. De fato, o efeito climático sobre o crescimento da vegetação é também representado no índice de vegetação. Os autores propõem, baseados no trabalho de Barnet e Thompson (1982), a técnica de regressão múltipla utilizando como variáveis independentes o índice de vegetação e o rendimento estimado através de modelo agrometeorológico. Neste, supõe-se que o componente agrometeorológico represente as condições de radiação solar incidente, temperatura e umidade do ar e de disponibilidade hídrica, enquanto que o componente espectral expresse as diferentes práticas de manejo, cultivares, profundidades do sistema radicular e estresses não incluídos no modelo agrometeorológico.

Este trabalho tem como objetivo ajustar um modelo agrometeorológico-espectral para estimativa do rendimento da soja no Rio Grande do Sul.

## 2. Material e Métodos

A área de estudo (2,8 milhões de hectares) abrangeu a região de produção significativa da cultura da soja no Rio Grande do Sul, localizada na porção norte e oeste do Estado. Nesta região foram selecionadas as localidades de Erechim, Santa Rosa, Júlio de Castilhos, Cruz Alta e Santo Augusto onde foram coletados os dados meteorológicos e dados espectrais.

O período de estudo compreendeu os anos agrícolas de 1982/83, 1983/84, 1984/85 e 1985/86, sendo os dados de rendimento médio da soja no Estado do Rio Grande do Sul, nestes anos, provenientes de estatísticas oficiais do IBGE (1983, 1984, 1985 e 1996).

O modelo foi ajustado por regressão múltipla na forma:

$$Y = a_0 + a_1(GVI) + a_2(Y_{agromet}) \quad (1)$$

onde: Y é o rendimento da soja estimado através do modelo agrometeorológico-espectral (t/ha); GVI é o índice de vegetação global;  $Y_{agromet}$  é o rendimento da soja estimado através do modelo agrometeorológico (t/ha) e  $a_0$ ,  $a_1$  e  $a_2$  os coeficientes da regressão.

Os dados de GVI foram obtidos de uma sequência de imagens semanais, do período 1982/83 a 1985/86, doadas pelo ‘Joint Research Centre of Ispra’ com as correções atmosférica, radiométrica e geométrica introduzidas. Os valores do contador digital dos pixels extraídos da sequência de imagens, foram transformados

em valores de índice de vegetação global, seguindo a equação proposta por Kidwell, 1990. O valor de GVI no modelo representa, para o período de maior correlação entre GVI e rendimento médio do Estado, a média dos valores obtidos nas 6 localidades, anteriormente citadas, nos quatro anos agrícolas. A amostragem foi feita para uma janela de 3 x 3 “pixels”, cujo “pixel” central foi localizado sobre a estação meteorológica da localidade.

O modelo agrometeorológico utilizado foi aquele ajustado por Berlatto (1987) para o Rio Grande do Sul, expresso por:

$$Y_{agromet} = Y_m * \left[ (ETr/ETo)_V^{0,129} (ETr/ETo)_R^{0,779} \right] \quad (2)$$

onde:  $Y_{agromet}$  é o rendimento da soja estimado através do modelo agrometeorológico (t/ha);  $Y_m$  é o rendimento máximo da série (t/ha); ETr e ETo são a evapotranspiração real e de referência (mm) e os valores 0,129 e 0,779 são os fatores de ponderação ajustados para os sub-períodos vegetativo (v) e reprodutivo (R) da cultura da soja no Rio Grande do Sul.

O rendimento máximo utilizado neste trabalho foi o máximo rendimento da cultura da soja, médio do Estado do Rio Grande do Sul, observado no período de 1980 a 1990.

Os dados meteorológicos de superfície, em base decenal, foram obtidos das estações meteorológicas dos seis municípios citados, pertencentes à Fundação de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Sul (FEPAGRO-RS). A evapotranspiração de referência foi estimada pela equação de Penman (1956), utilizando o saldo de radiação sobre a cultura da soja. A evapotranspiração real foi obtida através de balanço hídrico meteorológico, em nível decenal, através da metodologia de Thornthwaite-Mather (1955), utilizando uma capacidade de armazenamento de água no solo de 75 mm.

### 3. Resultados e Discussão

#### • *Modelo espectral*

A relação entre GVI e rendimento médio da soja no Estado do Rio Grande do Sul mostrou que, para os quatro anos agrícolas, a melhor correlação ocorreu nos meses de dezembro e janeiro, com um coeficiente de correlação de 0,77 (Tabela 1). As correlações que envolveram os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e março foram as que apresentaram os maiores coeficientes, superiores, até mesmo, ao valor médio de GVI para todo o ciclo da cultura (novembro a maio).

Este resultado é coerente com conceito de período crítico de culturas produtoras de grãos. Índices de vegetação maiores neste período, associado com maiores valores de biomassa e, portanto, maior potencial de realização de fotossíntese, tendem resultar em rendimentos, também, maiores.

**Tabela 1.** Coeficientes de correlação entre o índice de vegetação global (GVI) e rendimento da soja no Rio Grande do Sul, período 1982/83 a 1985/86.

Período*	1	2	3	4	5	6	7	8
r	0,52	0,77	0,66	0,49	-0,17	-0,19	0,73	0,64

\* *Períodos: 1- novembro a maio; 2 - dezembro e janeiro; 3 - janeiro e fevereiro; 4 - fevereiro e março; 5 - março e abril; 6- abril e maio; 7 - dezembro, janeiro e fevereiro; 8 - janeiro, fevereiro e março.*

Para dezembro e janeiro, período de melhor correlação, o modelo espectral, dado por regressão linear, apresentou um coeficiente de determinação ajustado de 0,40. A equação ajustada é apresentada a seguir:

$$Y_{\text{espectral}} = -0,024 + 4,977(\text{GVI}) \quad (3)$$

- **Modelo agrometeorológico**

A Tabela 2 mostra o desempenho do modelo agrometeorológico utilizando os parâmetros ajustados por Berlato (1987) para a estimativa do rendimento médio de lavouras de soja no Rio Grande do Sul.

**Tabela 2.** Relação entre evapotranspiração real e de referência (ETr/ETo) para os subperíodos vegetativo e reprodutivo da soja e rendimento observado e estimado através de modelo agrometeorológico para o Estado do Rio Grande do Sul.

Ano agrícola	(ETr/ETo) - mm		Rendimento - t/ha	
	vegetativo	reprodutivo	observado	estimado
1982/83	0,775	0,734	1,642	1,396
1983/84	0,716	0,749	1,552	1,403
1984/85	0,529	0,761	1,627	1,366
1985/86	0,462	0,723	1,042	1,290

O modelo agrometeorológico apresentou desempenho superior ao modelo espectral, com um coeficiente de determinação ajustado de 0,54, o que demonstra a sensibilidade da cultura da soja à deficiência hídrica, especialmente no subperíodo reprodutivo. Entretanto, o modelo agrometeorológico estimou, sistematicamente, rendimentos da soja menores do que os observados, ou seja, penalizou em demasia o rendimento em consequência do déficit hídrico, exceto para a safra 1985/86. Este fato sugere que os parâmetros ajustados por Berlato (1987), em condições de parcelas experimentais, não são diretamente aplicáveis em condições de lavoura, onde outros fatores além da disponibilidade hídrica determinam o rendimento final. Esta hipótese é reforçada na medida em que para o modelo agrometeorológico, utilizado em condições experimentais, foram obtidos coeficientes de determinação

que variaram de 0,92 a 0,95 para a cultura da soja (Berlato, 1987), de 0,73 a 0,96 para a cultura do girassol (Barni, 1994) e de 0,89 a 0,95 para a cultura do milho (Matzenauer et al., 1995b), entre outros.

- **Modelo agrometeorológico-espectral**

O modelo agrometeorológico-espectral, determinado através da regressão múltipla, cujas variáveis independentes foram o GVI e o rendimento estimado através do modelo agrometeorológico, explicou 55,2% da variação do rendimento de grãos de soja, sendo dado por:

$$Y = -5,063 + 0,578(GVI) + 0,0047(Y_{agromet}) \quad (4)$$

Rudorff e Batista (1990) trabalharam em lavouras comerciais obtendo os dados espectrais através de imagens do satélite Landsat. O coeficiente de determinação do modelo agrometeorológico-espectral testado variou de 0,50 a 0,69. Já, neste trabalho, foram utilizadas imagens GVI, com resolução espacial de 15 km, o que confere ao trabalho um caráter de estimativa de rendimento de soja em nível estadual.

Na Tabelas 3 são apresentados os resultados do ajuste dos modelos de estimativa de rendimento da soja através dos três modelos propostos.

**Tabela 4.** Rendimentos da cultura da soja, observado e estimados através dos modelos espectral, agrometeorológico e agrometeorológico-espectral, período 1982/83 a 1985/86 no Estado do Rio Grande do Sul.

Ano agrícola	Rendimento (t/ha)			
	Observado	Estimado pelos modelos		
		Espectral	Agromet	Agromet-Espectral
1982/83	1,642	1,754	1,396	1,649
1983/84	1,552	1,480	1,403	1,651
1984/85	1,627	1,408	1,366	1,470
1985/86	1,042	1,221	1,290	1,093
$r^2$		0,40	0,54	0,55

Verificaram-se coeficientes de determinação de 0,40, 0,54 e 0,55, respectivamente, para os modelos espectral, agrometeorológico e agrometeorológico-espectral. Mesmo tendo os dois últimos modelos apresentado coeficientes de determinação semelhantes, a diferença entre os rendimentos observados e estimados foi menor no modelo agrometeorológico-espectral, demonstrando melhor ajuste (Tabela 5).

Os resultados sugerem que a disponibilidade hídrica é muito importante na determinação do rendimento da cultura da soja no Rio Grande do Sul. Esta é expressa através do modelo agrometeorológico (variações no consumo relativo de

água) e, também, pelo modelo espectral (variações no GVI em consequência das variações de biomassa). Mas a utilização conjunta desses modelos, com melhoria de performance, demonstra que o modelo espectral incorpora algumas outras causas de variação do rendimento da soja, como práticas de manejo e cultivares, entre outras.

Os três modelos testados constituem-se em alternativas de monitoramento da evolução da cultura da soja no Rio Grande do Sul e, também, numa alternativa para a previsão de rendimento desta cultura, visto que nos modelos são utilizados dados de GVI de dezembro a março e dados de consumo relativo de água (ETr/ETo) de dezembro e janeiro (período vegetativo) e de fevereiro e março (período reprodutivo), portanto com antecedência de, pelo menos, um mês da colheita.

**Tabela 5.** Desvios de rendimento da cultura da soja estimado através dos modelos espectral, agrometeorológico e agrometeorológico-espectral, período 1982/83 a 1985/86, no Estado do Rio Grande do Sul.

Ano agrícola	Desvios de rendimento (t/ha) pelos modelos		
	Espectral	Agromet	Agromet-Espectral
1982/83	0,11 (7)	-0,25 (15)	0,07 (0,4)
1983/84	-0,07 (-5)	-0,15 (9)	0,09 (6)
1984/85	-0,22 (-13)	-0,26 (16)	- 0,16 (-9)
1985/86	0,18 (17)	0,25 (24)	0,05 (0,05)

Os números entre parênteses se referem ao desvio percentual

É importante salientar que os resultados apresentados neste trabalho são preliminares, visto, principalmente, o pequeno número de anos disponíveis. É intenção dos autores desenvolver trabalho nesta linha com, no mínimo, vinte anos de observação.

#### 4. Conclusões

- A disponibilidade hídrica é uma variável eficiente para indicar as variações no rendimento da soja no Rio Grande do Sul
- Os modelos agrometeorológicos e agrometeorológico-espectral podem ser utilizados para o monitoramento e para a previsão de rendimento de soja no Rio Grande do Sul.

## 5. Bibliografia citada

- Barnet, T.L.; Thompson, D.R. The use of large-area spectral data in wheat yield estimation. *Remote Sens. Environ.* v.12, n.6, p.509-518.
- Barni, N.A. *Modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica*. Porto Alegre, 1994. Tese (Doutorado em Fitotecnia), Fac de Agronomia, UFRGS. 1994. 249p.
- Berlato, M.A. *Modelo de relação entre o rendimento de grãos de soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul*. São José dos Campos, 1987. Tese (Doutorado em Meteorologia) Instituto de Pesquisas Espaciais, 1987. 93p.
- Berlato, M.A.; Fontana, D.C. Relação entre o rendimento de grãos de soja e variáveis meteorológicas. *Rev Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.27, n.5, p.695-702. 1992.
- Berlato, M.A.; Fontana, D.C. Variabilidade interanual da precipitação e variabilidade dos rendimentos da soja no Estado do Rio Grande do Sul. *Rev. Brasileira de Agrometeorologia* (no prelo).
- 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.
- 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. Alterações micrometeorológicas da soja submetida a diferentes regimes hídricos. *Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v.27, n.5, p.661-669. 1992.
- Jensen, M.E. Water consumptions by agricultural plants. In: Kozlowsky, T.T.; (Ed.) *Water deficits and plant growth*. New York: Academic Press, 1968. v.2, p.1-22.
- Kidwell, K.B.C. Global vegetation index: user guide. Washington. US Department of Commerce, 1990. 40p.
- 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*, Basingstoke. v.4, p.3471-87. 1993.
- Matzenauer, R.; Bergamaschi, H.; Berlato, M.A.; Riboldi, J. Relações entre rendimento de milho e variáveis hídricas. *Rev. Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.3, p.85-92. 1995.
- Matzenauer, R.; Bergamaschi, H.; Berlato, M.A.; Riboldi, J. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de milho em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesq. Agropecuária Gaúcha*, v.1, n.2. p.225-241. 1995.
- 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 AVHRR. *Basingstoke*, v.13, p.3431-42, 1992.
- 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.
- Thornthwaite, C.W. e Mather, J.R. The water budget and its use in irrigation. *The yearbook of agriculture*, Washington, D.C. p.346-58. 1955.