

Estimativa da produtividade de soja por meio de um modelo agrometeorológico-espectral: estudo de caso no Rio Grande do Sul

Rodrigo Rizzi ¹
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff ¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{rizzi, bernardo}@dsr.inpe.br

Abstract. An agrometeorological crop yield model, integrated in a Geographic Information System, was used to estimate soybean grain yield in Rio Grande do Sul State, Brazil, for the crop year of 2000/01. Two approaches were used for the model: a) agrometeorological (A) model with leaf area index (LAI) estimated from fixed literature values for each growth stage and; b) agrometeorological-spectral (A-E) model with LAI estimated from biweekly MODIS/NDVI images. Both models provided similar results in terms of the State mean crop yield and also compared well with the official statistic from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). However, the A-E model provided much better local estimates due to the high spatial resolution of LAI data estimated from MODIS/NDVI images.

Key words: Grain yield estimate, soybean, remote sensing, MODIS, NDVI, estimativa de produtividade, soja, sensoriamento remoto.

1. Introdução

O levantamento de estatísticas sobre as safras agrícolas é um requisito fundamental para que sejam traçadas medidas que venham favorecer todo o processo produtivo, evitando especulações e favorecendo preços justos (Rizzi e Rudorff, 2003). No Brasil, as estimativas oficiais de produtividade agrícola são realizadas predominantemente de forma subjetiva, através de entrevistas aplicadas aos produtores, especulações sobre venda de insumos, análise de safras passadas, observação das condições meteorológicas, entre outros fatores, que não permitem uma análise quantitativa dos erros envolvidos. Em função disso, torna-se crescente a demanda por metodologias que permitam a obtenção de tais informações através de métodos objetivos, ou seja, que relacionem a variabilidade meteorológica aos fatores que afetam o crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas e definem sua produtividade.

Pesquisas envolvendo estimativa da produtividade vêm sendo desenvolvidas utilizando dados agrometeorológicos, associados ou não, às imagens de sensoriamento remoto, através de modelos matemáticos (Rudorff e Batista, 1990, 1991; Fontana e Berlato, 1998). Apesar disso, para que os modelos possam gerar prognósticos em grandes áreas, viabilizando sua aplicação em escala estadual ou nacional, é fundamental sua associação aos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) (Berka et al., 2003; Melo et al., 2003). Berka et al. (2003) propõem um modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade da soja, denominado AGROMET, o qual foi implementado em uma linguagem de programação e integrado a um SIG. Esse modelo pode ser adaptado para qualquer região ou período de abrangência, através substituição das variáveis de entrada (dados agrometeorológicos).

Uma variável relevante na estimativa da produtividade é o índice de área foliar (IAF), o qual reflete as condições de crescimento impostas pelo efeito conjunto das variáveis meteorológicas e de cultivo ao longo do ciclo da cultura. Como as alterações do IAF são manifestadas na reflectância espectral dos dosséis agrícolas, este pode ser estimado para grandes regiões através de dados de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) extraídos de imagens de sensoriamento remoto. O modelo AGROMET aceita a entrada dos dados de IAF tanto sob a forma de parâmetros, quando um único valor é utilizado para toda a área em estudo, quanto através de planos de informação, quando cada ponto da grade regular

(pixel) contém o valor correspondente ao IAF da respectiva área do terreno. A segunda alternativa é a que possibilita a inserção de dados de IAF extraídos de imagens de sensoriamento remoto como componente espectral.

Alem disso, o lançamento do sensor MODIS, em 1999, adquirindo imagens com características muito superiores às adquiridas pelos sensores da série NOAA/AVHRR, até então utilizadas neste tipo de pesquisa (Liu e Kogan, 2002; Melo et al., 2003), abre novas possibilidades para a incorporação dos dados de sensoriamento remoto em modelos agronômicos de estimativa de produtividade.

Outro aspecto inerente aos modelos de produtividade é que sua validação está atrelada aos dados oficiais históricos de produtividade. Estes, entretanto, são estimados em função da produção contabilizada em cada município e de sua área plantada, subjetivamente estimada por ocasião da semeadura da cultura. Por conseguinte, qualquer erro na estimativa da área plantada implica, invariavelmente, em erros na estimativa da produtividade, o que compromete a validação desses modelos. O presente trabalho pretende também dar uma contribuição neste sentido, pois uma vez conhecida a real área plantada com a cultura, sua produtividade final pode ser recalculada através da produção total.

Sendo assim, este trabalho objetivou adaptar o modelo de produtividade implementado por Berka et al. (2003), às condições agrometeorológicas do Rio Grande do Sul, acrescido de uma variável espectral representada por imagens MODIS/NDVI, visando à estimativa da produtividade da soja, em nível municipal e estadual, no ano-safra 2000/01.

2. Materiais e Método

2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se entre as latitudes S 27° 03' e S 30° 13' e as longitudes W 50° 40' e W 56° 20' (**Figura 1**), abrangendo 322 municípios (117.628 km²), os quais correspondem a aproximadamente 90% da produção de soja no Estado. A estimativa da produtividade da soja foi realizada para o ano-safra 2000/01, utilizando-se o modelo agrometeorológico AGROMET, proposto por Berka et al. (2003), acrescido de dados de IAF extraídos de imagens MODIS/NDVI. Todas as equações que envolvem o cálculo da produtividade estão detalhadamente descritas em Doorembos e Kassam (1979) e Sugawara (2002). Desta forma, este trabalho ficará restrito aos procedimentos que envolveram a adaptação do modelo à área de estudo e à introdução da variável espectral.

2.2 Descrição das Variáveis Utilizadas

Os elementos meteorológicos requeridos pelo AGROMET para o cálculo da produtividade são: temperatura média do ar (°C); velocidade do vento a 2 metros de altura (km dia⁻¹); umidade relativa do ar (%); insolação (horas dia⁻¹) e precipitação pluvial (mm dia⁻¹). Tais dados foram coletados pelas estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia e da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Sul. A localização geográfica das estações meteorológicas utilizadas pode ser visualizada na **Figura 1**. Nota-se que, além do reduzido número de estações disponíveis, parte delas está localizada além dos limites físicos da área de estudo. Contudo, acredita-se que a utilização destas possa fornecer informações adicionais para a geração dos mapas interpolados.

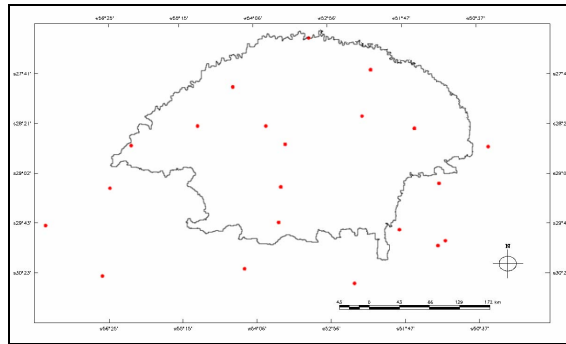


Figura 1. Distribuição espacial das estações meteorológicas utilizadas na estimativa da produtividade da soja no Rio Grande do Sul.

A resolução espacial empregada no modelo foi de 1 x 1 km. Desta forma, todas as variáveis são representadas por meio de uma grade regular (matriz) onde cada ponto (pixel) corresponde a uma área de 1 x 1 km no terreno, sendo que o modelo calcula a produtividade da soja para cada ponto. A escala temporal utilizada foi quinzenal, ou seja, são calculadas produtividades parciais a cada 15 dias, desde a implantação da cultura até a sua senescência. A produtividade final é resultado do somatório das produtividades parciais. Assim, os dados meteorológicos diários foram organizados em médias quinzenais, salvo os dados referentes à precipitação pluvial, que foram somados quinzenalmente. Tais dados foram espacializados através do algoritmo *média ponderada por quadrante*, recomendado quando as amostras são do tipo ponto (INPE, 2003).

São necessários, ainda, dados adicionais referentes à altitude e à capacidade de armazenamento de água (CAD) dos solos da região. Para o dado de altitude foi utilizado um modelo digital de elevação, disponibilizado pelo Eros Data Center-USGS (www.usgs.gov). Para o dado referente à CAD foi utilizado um mapa de classificação de solos (Brasil, 1973), onde para cada classe pedológica foi atribuído um valor de CAD (50, 70 ou 100 mm), de acordo com EMBRAPA (1999); Farias et al. (2000); Farias (2001).

Além das variáveis citadas anteriormente, o AGROMET requer a informação referente ao IAF da cultura em cada quinzena. Assim, foram obtidos compostos de imagens de 16 dias (composições) do sensor MODIS, sob a forma de NDVI, desde novembro de 2000 até março de 2001. Tais imagens foram primeiramente transformadas em imagens fração da cobertura do solo, através do método proposto por Choudhury et al. (1994), de acordo com a Equação 1:

$$F_c = 1 - \left(\frac{NDV_{Imax} - NDVI}{NDV_{Imax} - NDV_{Imin}} \right)^{0,6} \quad (1)$$

onde, F_c = fração do solo coberto pela cultura; NDV_{Imax} = valor máximo do NDVI da imagem; NDV_{Imin} = valor mínimo do NDVI da imagem; $NDVI$ = valor do NDVI do pixel a ser contabilizado. O IAF é estimado pela Equação 2, segundo Norman et al. (2003).

$$IAF = -2\ln(1-F_c) \quad (2)$$

Neste caso, o modelo utiliza o IAF para o cálculo da produtividade através do fator de compensação de crescimento (F_{cc}) (Equação 3) proposto por Doorembos e Kassam (1979).

$$F_{cc} = 0,515 \cdot e^{(-0,664 - (0,515 \cdot IAF))} \quad (3)$$

2.3. Parametrização do Modelo

De posse das variáveis de entrada (meteorológicas e agronômicas), o modelo AGROMET exige a definição de alguns parâmetros específicos para cada cultura agrícola. O primeiro parâmetro a ser definido é o *coeficiente de cultura* (kc), que expressa a relação entre a evapotranspiração máxima de uma cultura qualquer e a evapotranspiração de referência, variando conforme o aumento da área foliar e o estágio de desenvolvimento da cultura (Doorenbos e Kassam 1979, p. 25). O segundo parâmetro, denominado *fator de resposta à produtividade* (ky), diz respeito à resposta da vegetação à disponibilidade hídrica e relata a diminuição relativa da produtividade em função da diminuição da evapotranspiração (Doorenbos e Kassam 1979, p. 39). O terceiro parâmetro é a *profundidade do sistema radicular* (D) da cultura, a qual interfere na capacidade de aproveitamento da água disponível no solo e, conseqüentemente, na produtividade final (UFSM, 1996). Os valores dos parâmetros utilizados estão descritos em Rizzi (2004).

Além destes, o *fator de produtividade agrícola* (FPA) é o parâmetro que mais tem influência no cálculo da produtividade final, apesar de ser constante para todo o ciclo da cultura. O FPA está relacionado à quantidade de matéria seca produzida pela planta e que é contabilizada como rendimento econômico. No caso da soja, são contabilizados apenas os grãos, os quais correspondem entre 30 e 40% da planta. Como o AGROMET determina a produtividade com base na matéria seca total, o FPA é multiplicado pelo valor da produtividade obtido em cada quinzena. O FPA utilizado neste trabalho foi de 35,67%. Ressalta-se que, uma vez definidos os valores dos parâmetros para um ano-safra, estes devem ser mantidos inalterados para a estimativa da produtividade em anos-safras subseqüentes.

A parametrização do AGROMET envolveu ainda outro aspecto que merece destaque. Para evitar que a subjetividade inerente aos dados oficiais tivesse influência na parametrização, foram utilizados os dados referentes à área plantada, estimados por Rizzi (2004) através da classificação multitemporal de imagens Landsat, para efetuar uma correção nos dados de produtividade oficiais fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Neste caso, supõe-se que para uma dada produção, erros na estimativa da área plantada implicam diretamente em erros na estimativa da produtividade. Desta forma, os dados de produtividade em nível estadual e municipal foram recalculados aplicando-se um mesmo fator de correção, definido a partir da diferença entre o valor de área plantada fornecido pelo IBGE e o estimado por Rizzi (2004), em nível estadual.

2.4. Substituição da Variável Índice de Área Foliar

Objetivando avaliar a influência do termo espectral na estimativa da produtividade, as imagens MODIS/NDVI foram substituídas por valores de IAF de soja obtidos por Fontana et al. (1992) através de um experimento a campo sem irrigação. Neste caso, foi utilizado o mesmo valor de IAF para toda a área de estudo, variando apenas de quinzena para quinzena. As demais variáveis e parâmetros utilizados foram mantidos inalterados, salvo o valor do FPA, o qual foi definido em 30,02%. Posteriormente, realizou-se novamente o cálculo da produtividade.

2.5. Cálculo da Produtividade em Nível Municipal e Estadual

Para o cálculo da produtividade utilizou-se um PI temático de área plantada (classificação das imagens Landsat) (Rizzi, 2004) para associar a variação espacial dos dados agrometeorológicos às áreas de plantio de soja, de modo que somente as áreas com soja fossem computadas. A produtividade média por município foi calculada através do mapa da

divisão política municipal. A média da produtividade em toda a área em estudo foi calculada por meio de um mapa vetorial contendo seus limites.

Através de um teste de comparação de pares de observação (teste *t*), os dados de produtividade, em nível municipal, obtidos pelo modelo AGROMET foram comparados estatisticamente aos fornecidos pelo IBGE e corrigidos em função da área plantada. Para tanto, o dado de produtividade de cada município foi ponderado pela sua percentagem de área plantada com soja, para evitar que municípios pouco expressivos e de baixa produtividade, tivessem a mesma influência na média das estimativas que municípios tradicionais no cultivo de soja.

2.6. Monitoramento Temporal da Soja

Além do cálculo da produtividade final, o modelo AGROMET gera Planos de informação (PIs) contendo índices de penalização (IPs) calculados para cada quinzena, através dos quais pode ser realizado o monitoramento da safra da soja durante todo seu ciclo fenológico, visualizando-se, de forma espacial, a penalização ocorrida pelo déficit hídrico em cada quinzena. O IP é calculado através da Equação 4:

$$IP = 1 - ky \left(1 - \frac{ETr}{ETm} \right) \quad (4)$$

onde, IP = Índice de Penalização; ky = fator de resposta à produtividade; ETr = evapotranspiração atual; ETm = evapotranspiração máxima. No cálculo da média do IP da área de estudo, em cada quinzena, utilizou-se a mesma metodologia descrita no Item 2.5.

3. Resultados e discussão

3.1. Desempenho dos Modelos de Estimativa de Produtividade

A título de discussão dos resultados, o modelo de estimativa de produtividade que utilizou os dados de IAF publicados por Fontana et al. (1992) (Item 2.4) foi denominado de *agrometeorológico* e o modelo que empregou as imagens NDVI oriundas do sensor MODIS de *agrometeorológico-espectral*. A **Tabela 1** exhibe os valores de produtividade, em nível estadual, estimados por ambos os modelos em comparação aos fornecidos pelo IBGE e corrigidos em função da área plantada. Os valores de produtividade em nível municipal estão transcritos em Rizzi (2004).

Tabela 1. Produtividade estimada pelos modelos *agrometeorológico-espectral* e *agrometeorológico*, em comparação à produtividade oficial corrigida.

Ano-safra	Método de Estimativa	Produtividade (kg ha ⁻¹)	Diferença		Teste <i>t</i>
			(kg ha ⁻¹)	(%)	
2000/01	Produt. corrigida	2.623	-	-	-
	Agromet.-espectral	2.622	- 1	- 0,04	0,03
	Agrometeorológico	2.622	- 1	- 0,04	0,03

No que tange ao desempenho dos modelos, tanto o *modelo agrometeorológico*, quanto o *agrometeorológico-espectral* retornaram valores praticamente equivalentes à produtividade corrigida, para a média estadual. Pois a produtividade estimada ficou apenas 0,04% abaixo da estimativa oficial corrigida (**Tabela 1**), não havendo diferença estatisticamente significativa entre a estimativa dos modelos e a produtividade corrigida ($t = 0,03$).

A **Figura 2** apresenta os mapas de produtividade produzidos por ambos os modelos e a divisão política municipal. Cabe lembrar que somente as áreas com soja foram computadas no cálculo da produtividade final, o que explica as regiões em branco nos mapas de produtividade, as quais referem-se às áreas pertencentes à classe não-soja.

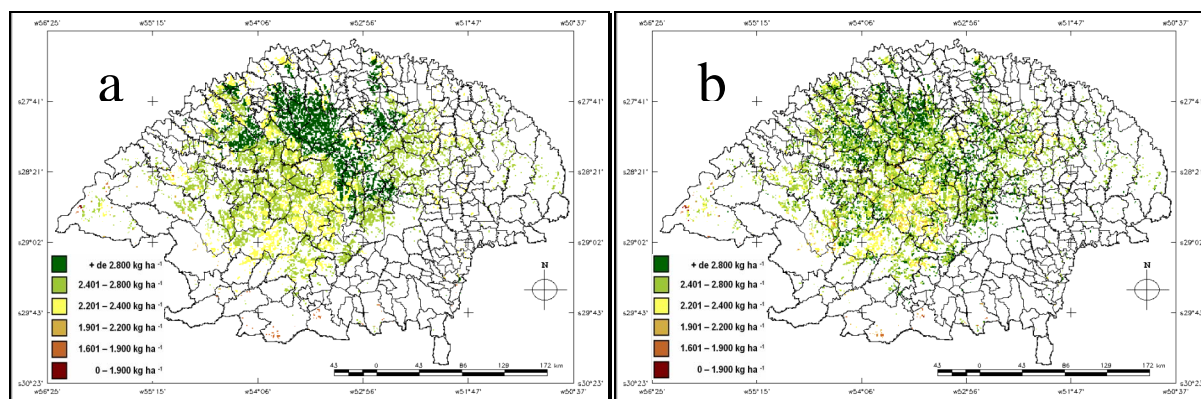


Figura 4. Mapa temático referente à produtividade da soja estimada pelos modelos *agrometeorológico* (a) e *agrometeorológico-espectral* (b).

Percebe-se que a maioria dos talhões de soja apresentou produtividade superior a 2.400 kg ha^{-1} . Apesar disso, na parte centro-sul da área de estudo, observaram-se alguns talhões com produtividade variando entre 2.201 e 2.400 kg ha^{-1} . Talhões com produtividade inferior a 2.201 kg ha^{-1} foram muito pouco frequentes, dadas as favoráveis condições meteorológicas apresentadas no ano-safra analisado. No entanto, existem diferenças na distribuição espacial dos níveis de produtividade entre os mapas gerados pelos dois modelos. No *modelo agrometeorológico* (a), os talhões pertencentes aos mesmos níveis de produtividade tendem a estar agrupados, delimitando regiões homogêneas. Essas regiões provavelmente foram originadas pela existência de limites abruptos nos mapas das variáveis meteorológicas interpoladas, provocados pelo número reduzido de estações utilizadas. Todavia, no *modelo agrometeorológico-espectral* (b), observa-se uma mistura dos níveis de produtividade, até mesmo dentro de um determinado município. Ou seja, o IAF estimado a partir das imagens MODIS/NDVI compensou, em parte, a baixa densidade das estações meteorológicas utilizadas, conseguindo traduzir a variabilidade espacial das condições da vegetação.

3.3. Monitoramento temporal da Soja

Em relação ao monitoramento temporal da cultura, salienta-se o caráter preditivo do modelo. Pois além de o mesmo informar o valor da produtividade final cerca de um mês antes do término da colheita, o IP indica as perdas de produtividade observadas em cada quinzena. Ou seja, ao ser constatada uma redução na produtividade em determinada quinzena, esta já pode ser contabilizada na produtividade final da cultura, mesmo que por ventura as quinzenas restantes apresentem condições meteorológicas favoráveis.

A **Figura 3** mostra a trajetória do índice de penalização para a média da área de estudo, onde os valores mais baixos indicam as maiores perdas na produtividade em relação ao déficit hídrico. Percebe-se que são observadas perdas no potencial produtivo da cultura (área em verde), principalmente no mês de janeiro e na primeira quinzena de fevereiro e março, apesar do ano-safra analisado ter representado o segundo maior índice de produtividade já registrado no Estado. Isto indica que, apesar das excelentes condições meteorológicas ocorridas neste ano-safra, foram observados períodos onde a cultura não pode expressar todo seu potencial produtivo em virtude do déficit na disponibilidade hídrica. Isto reforça as afirmativas de outros estudos de que o regime de precipitação pluvial que ocorre no Rio Grande do Sul

limita a expressão da produtividade potencial da soja (Mota, 1996; Matzenauer et al., 2003). Este é o motivo provável da produtividade média da cultura no Estado estar entre as mais baixas do país, já que quase a totalidade das lavouras é conduzida sem suprimento hídrico adicional.

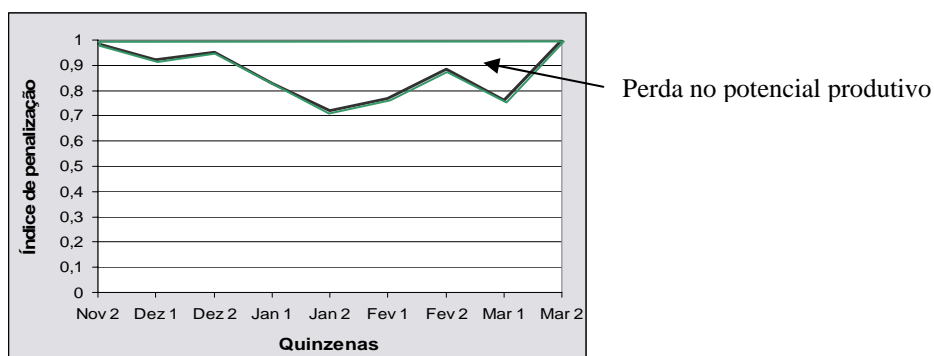


Figura 3. Índice de penalização estimado para a cultura da soja no Rio Grande do Sul.

Além de monitorar as condições médias da região em estudo, é possível visualizar espacialmente as perdas no potencial produtivo da cultura em cada quinzena, conforme a **Figura 4**. Neste caso, percebe-se que tais perdas não são espacialmente uniformes para toda a área em estudo. Nota-se que houve uma ligeira penalização nos valores de produtividade durante a primeira quinzena de março. Contudo, através da **Figura 4**, verifica-se que tal penalização esteve concentrada principalmente na região centro-sul da área de estudo, sendo as demais regiões pouco comprometidas em relação ao déficit hídrico.

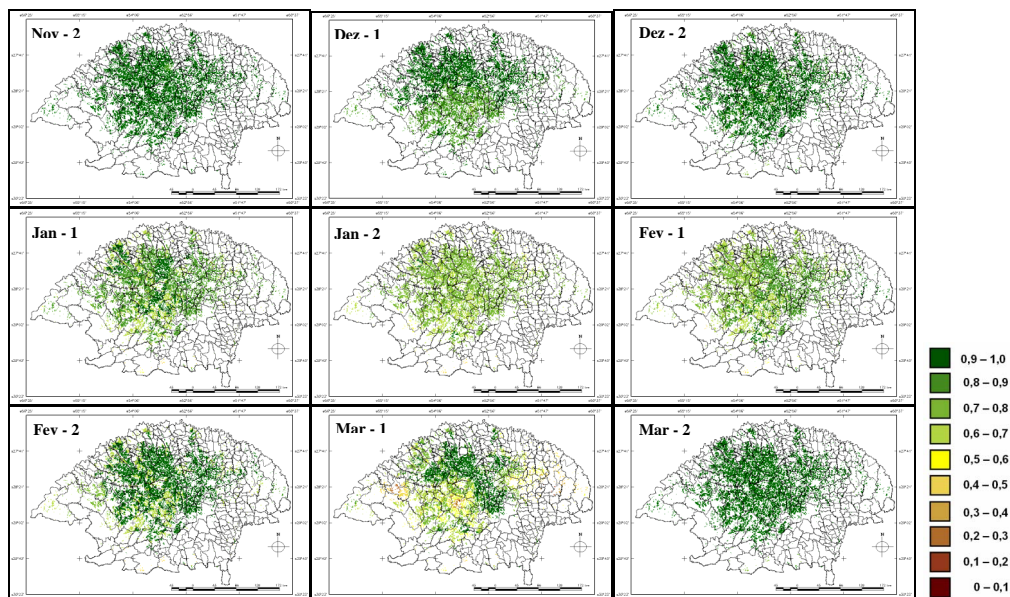


Figura 4. Índices de penalização quinzenal para a cultura da soja, ano-safra 2000/01.

4. Referências bibliográficas

Berka, L.M.S.; Rudorff, B.F.T. Estimativa de área plantada com soja através de imagens Landsat em municípios do norte do Paraná. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., Belo Horizonte. 2003. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 27-31. Disponível na biblioteca digital URLib <lagavulin.ltid.inpe.br:1905/col/ltid.inpe.br/sbsr/2003/03.27.11.57/doc/01_469.PDF> Acesso em: 3 nov. 2004.

Brasil - Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Recife, 1973, 431 p. (DNPEA. Boletim técnico n. 30).

- Choudhury, B.J.; Ahamed, N.U.; Idso, S.B.; Reginato, R.J.; Daughtry, C.S.T. Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. **Remote Sensing of Environment**, v. 50, n. 1, p. 1-17, 1994.
- Doorenbos, J.; Kassam, A. H. **Yield response to water**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1979. 193 p. (FAO-Irrigation and Drainage Paper n. 33).
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.
- Farias, J. R. B. jrenato@cnpso.embrapa.br. **Zoneamento**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <Imiura@Itid.inpe.br >. Acesso em: Mai. 2001.
- Farias, J. R. B.; Nepomuceno, A. F.; Neumaier, N.; Oya, T. Ecofisiologia. In: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **A cultura da soja no Brasil**. [CD-ROM]. Londrina: Embrapa Soja, 2000.
- Fontana, D. C.; Berlato, M. A.; Bergamaschi, H. Alterações micrometeorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 5, p. 661-669, 1992.
- Fontana, D.C.; Ducati, J.R.; Weber, E.; Berlato, M.A.; Bergamaschi, H.; Figueiredo, D.C. **Monitoramento e Previsão da Safra de Soja 1999/2000 no Brasil**. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, CEPARM/UFRRGS. 2001, 116 p. (Série D: Relatório Técnico - N° 005/01).
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2003. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/IBGE/>. Acesso em: 7 nov. 2003.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Teoria: **Modelagem digital de terreno**, Disponível em: <www.dpi.inpe.br/spring/teoria/mnt/mnt.htm>. Acesso em: Jun. 2003.
- Liu, W.T.; Kogan, F. Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation condition indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 6, p. 1161-1179, 2002.
- Matzenauer, R.; Bergamaschi, H.; Berlato, M. A.; Maluf, J. R. T.; Barni, N. A.; Bueno, A. C.; Didoné, I. A.; Anjos, C. A.; Machado, F. A.; Sampaio, M. R. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre : FEPAGRO, 2002. 105 p. (Boletim FEPAGRO, 10).
- Melo, R.W.; Fontana, D.C.; Berlato, M.A. Modelo agrometeorológico-espectral de estimativa de rendimento da soja para o Estado do Rio Grande do Sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 173 -179. Disponível na biblioteca digital URLib <150.163.34.2:1908/rep-/Itid.inpe.br/sbsr/2002/11.13.11.52 > Acesso em: 15 jun. 2003.
- Mota, F. S. da; Agendes, M. O. de O.; Alves, E. G. P.; Signorini, E. Análise agroclimatológica da necessidade de irrigação da soja no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 133-138, 1996.
- Norman, J.M.; Anderson, M.C.; Kustas, W.P.; French, A.N.; Mecikalski, J.; Torn, R.; Diak, G.R.; Schmugge, T.J. Remote sensing of evapotranspiration for precision-farming applications. **International Geoscience and Remote Sensing Symposium**, Toulouse, France, July 21-25, 2003.
- Rizzi, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja**: estudo de caso no Rio Grande do Sul. 2004-04-30. (INPE--TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.
- Rizzi, R.; Rudorff, B.F.T. imagens Landsat na estimativa de área plantada com soja em municípios do Rio Grande do sul. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., Belo Horizonte. 2003. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 231-238. Disponível na biblioteca digital URLib <http://lagavulin.Itid.inpe.br:1905/col/Itid.inpe.br/sbsr/2003/03.27.11.57/doc/01_411.PDF> Acesso em: 8 out. 2004.
- Rudorff, B. F. T.; Batista, G.T. Yield estimation of sugarcane based on Agrometeorological-spectral models. **Remote Sensing of Environment**, v. 33, n. 3, p. 183-192, 1990.
- ____. Wheat yield estimation at the farm level using TM Landsat and agrometeorological data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 12, n. 12, p. 2477-2484, 1991.
- Sugawara, L. M. **Avaliação de modelo agrometeorológico e imagens NOAA/AVHRR no acompanhamento e estimativa de produtividade da soja no Estado do Paraná**. 2002. 181p. (INPE-8702-TDI/794). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2002.
- UFES - Universidade Federal de Santa Maria. **A cultura da soja**. Faculdade de Agronomia, Santa Maria, 1996. 35p.