

Monitoramento do desenvolvimento da cultura da soja no sul do Brasil usando dados SPOT Vegetation e NOAA/AVHRR.

Aníbal Gusso¹
Eliana Lima da Fonseca²
Denise Cybis Fontana³

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul/
Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia - UFRGS/CEPSRM
Caixa Postal 15044 – 91501-970 – Porto Alegre - RS, Brasil
Anibal.Gusso@UFRGS.br

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS/
Departamento de Geografia
Caixa Postal 15044 - 91501-970 – Porto Alegre - RS, Brasil
Eliana.Fonseca@UFRGS.br

³ Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS/
Faculdade de Agronomia
Caixa Postal 15044 - 91540-000 – Porto Alegre - RS, Brasil
Dfontana@UFRGS.br

Abstract. *The Joint Research Centre (JRC), that works as a center of science and technology reference for the European Union (EU), has been developing technologies and organising a crop yield monitoring and forecasting system in different parts of the world. Based on the experience of the Monitoring Agriculture with Remote Sensing (MARS) project in Europe, in 2001 the European Commission decided to enlarge the monitoring activities to the others regions of the world. In Brazil, both Rio Grande do Sul and Paraná States are great grain exporters of Brazilian grain production, especially soybean. In this paper, it is shown an inter-annual comparative study of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) obtained both from Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) instrument of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) satellites system and Vegetation instrument of the Systeme Pour L'Observation de la Terre (SPOT) from July 2004 to July 2006. The objective was to investigate specific temporal profiles of NDVI measurements over crop fields areas in order to observe the relationship between these two sensors.*

Palavras-chave: remote sensing, agricultural monitoring, comparision, sensoriamento remoto, monitoramento agrícola, comparação.

1. Introdução e Objetivos

O uso de dados de sensoriamento remoto no monitoramento dos processos da biosfera como a produção primária e evapotranspiração exigem o imageamento frequente da superfície terrestre (Goetz, 1997). Adicionalmente, as aplicações agrícolas da tecnologia de sensoriamento remoto requerem um processamento quantitativo dos dados, com grande precisão e confiabilidade.

O *Joint Research Centre* (JRC) funciona como um centro de referência de ciência e tecnologia para a União Européia (UE), cuja missão é fornecer a sustentação científica e técnica dirigida aos usuários para concepção, desenvolvimento, execução e monitoramento de políticas da UE. A unidade AGRIFISH é uma fusão das ações de monitoramento da agricultura e das atividades de pesca através de sensoriamento remoto. Os experimentos desenvolvidos integram a pesquisa e técnicas em estatística, processamento e interpretação de imagens, gerenciamento de Sistema de Informações Geográficas, informação em rede,

geomática, modelos agrometeorológicos (crescimento e rendimento) e controle de qualidade. Com base em dados dos satélites *Systeme Pour L'Observation de la Terre (SPOT)*.

Na última década, índices espectrais de vegetação, e particularmente aqueles derivados dos instrumentos *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)* do *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)* têm demonstrado grande potencial no monitoramento de parâmetros ambientais e da vegetação (Kogan *et al.*, 2003). Apesar dos dados NOAA/AVHRR, desde meados dos anos 80, serem usados para o monitoramento dos diferentes ambientes sobre a superfície terrestre, o potencial científico destes dados tem encontrado um vasto campo de aplicações no monitoramento de parâmetros agrometeorológicos sobre o território brasileiro (e.g. Fontana *et al.*, 2002; Kogan 2001; Liu e Kogan 2002; Melo 2003; Motta *et al.* 2003).

Atualmente, com a necessidade do acesso de informações e a tomada de decisões em tempo hábil, tem se evidenciado a importância conhecimento sobre técnicas que proporcionem a interpretação de dados gerados por diferentes instrumentos colocados em órbita.

O objetivo deste trabalho foi investigar o perfil de evolução do produto NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) obtido pelos sensores SPOT Vegetation e NOAA/AVHRR, sobre áreas de intenso cultivo da soja e verificar a relação da estimativa do NDVI obtidos entre os dois sensores, no período analisado.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

Para este estudo, foram selecionados 20 municípios em áreas de grande produção de soja nos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná. No Rio Grande do Sul os dez municípios analisados estão dentro de uma grande área na metade norte do Estado, e de intenso cultivo da soja. No Paraná, os dez municípios analisados também são provenientes de uma área de intenso cultivo da soja, na região oeste do Estado. O clima predominante nos dois estados é subtropical e temperado, respectivamente caracterizados pelos tipos *Cfa* e *Cfb* de Köppen (1948). A figura 1 apresenta os municípios analisados nos dois Estados e a Tabela 1 apresenta a distribuição dos municípios analisados nos dois Estados, a área total do município e a área de cultivo de soja (IBGE, 2002).

Figura 1 – Localização da área de estudos.

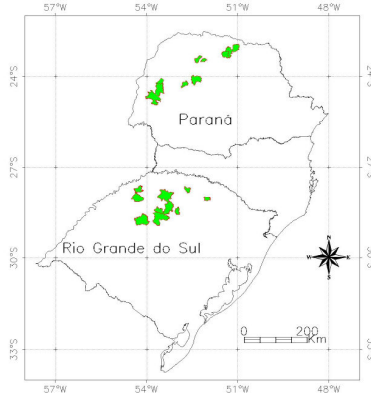


Tabela 1 - Municípios avaliados, coordenadas centrais, área total do município e a área relativa referente ao cultivo com soja.

	Municípios (PR)	Coordenadas (LatLong)	Área total (Km ²)	Área cultivada (%)
1	Assis Chateaubriand	24° 31'S 53° 33'W	970	75,84
2	Boa Esperança	24° 15'S 52° 48'W	307	92,83
3	Brasilândia do Sul	24°10'S 53° 30'W	291	58,42
4	Cambé	23° 79'S 51° 13W	495	56,86
5	Campo Mourão	24° 10'S 52° 22'W	757	64,99
6	Paiçandu	23° 26'S 52° 10'W	171	56,49
7	Rolândia	23° 18'S 51° 30'W	460	48,09
8	São Jorge do Ivaí	23° 28'S 52° 24'W	315	85,71
9	Sertanópolis	23° 00'S 50° 57'W	506	53,02
10	Toledo	24° 45'S 53° 48'W	1.197	56,10
	Municípios (RS)	Coordenadas (LatLong)	Área total (Km ²)	Área cultivada (%)
1	Campinas do Sul	27° 41'S 52° 39'W	261	53,64
2	Colorado	28° 28'S 52° 56'W	286	55,59
3	Cruz Alta	28° 43'S 53° 34'W	1.360	58,82
4	Giruá	28° 04'S 54° 25'W	856	66,59
5	Jóia	28° 47'S 54° 09'W	1.236	51,78
6	Palmeira das Missões	27° 50'S 53° 16'W	1.416	63,56
7	Pejuçara	28° 23'S 53° 33'W	414	66,67
8	Santa Bárbara	28° 24'S 53° 10'W	971	66,94
9	Tapejara	28° 00'S 52° 01'W	241	54,15
10	Três de Maio	27° 41'S 54° 18'W	422	63,39

2.2. Cálculo do NDVI a partir do sensor SPOT Vegetation

As imagens/produto NDVI do SPOT Vegetation, foram cedidas gratuitamente pelo Joint Research Centre (JRC) of European Commission: < <ftp://agrifish.jrc.it/Public/> >. Estas imagens fornecem o valor máximo mensal do NDVI calculado a partir das imagens diárias, com uma resolução radiométrica de 8bits. Para o cálculo são consideradas as bandas do vermelho que está posicionada em 0,61-0,68µm e do infravermelho posicionada em 0,78-0,89µm (Carreiras *et al.*, 2002). Estas imagens foram importadas integralmente para o aplicativo ENVI 4.2, em formato Geotiff. Posteriormente foram redimensionadas para a resolução espacial de 0.01 graus (aproximadamente 1100metros no nadir) DATUM WGS84, para possibilitar a comparação com os dados NOAA/AVHRR, uma vez que o sensor SPOT/Vegetation produz com resolução espacial de 1000 metros (no nadir) sobre a superfície terrestre. As imagens que cobriam toda a América do Sul foram recortadas deixando apenas os três estados da região sul do Brasil (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná), visando facilitar a manipulação dos dados. Após, foram convertidos valores de nível de cinza dos *pixels* da imagem em unidades de NDVI, por meio do cálculo ($NDVI = 0.004 * \text{imagem} - 0.1$), conforme indicado pelo VEGETATION programme, disponibilizado em: < <http://www.vgt.vito.be/> >.

2.3. Cálculo do NDVI a partir do sensor NOAA/AVHRR

O processamento das imagens NOAA/AVHRR, em índice de vegetação, foi realizado no programa ERDAS-Imagine (versão 8.5), com dados obtidos da estação de recepção de imagens NOAA instalada no CEPSRM, no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) localizada nas coordenadas aproximadas 30° 03'S 51° 09'W.

Neste procedimento estão incluídos os seguintes passos: a inspeção visual da qualidade mínima dos dados digitais, calibração radiométrica atualizada segundo os procedimentos descritos por Rao e Chen (1999) - recomendados pela NOAA - e primeira e segunda etapas de georeferenciamento e cálculo do NDVI (Rouse *et al.*, 1974) obtido por meio de uma combinação matemática simples, que relaciona a radiação refletida na faixa do vermelho (0,58 – 0,68 μ m) e infravermelho (0,725 – 1,0 μ m). As composições de imagens de NDVI foram obtidas pelo cálculo do MVC (*Maximum Value Composite*) de Holben (1986), a partir das imagens diárias do satélite NOAA-17.

2.4. Análise dos valores do NDVI sobre a área de estudos

Os dados mensais do NDVI obtidos pelos dois sensores foram extraídos considerando toda a área dos municípios, a qual foi delimitada pelo arquivo vetorial da malha municipal oficial (IBGE). Foram extraídos os valores de NDVI de todos os *pixels* do interior de cada um dos 20 municípios avaliados, totalizando 11.817 *pixels* para cada um dos sensores, para cada um dos meses do período estudado (julho 2004 a julho de 2006).

Os dados foram tabulados mês a mês para cada município visando a construção de perfis temporais e uma análise estatística da variação mensal da diferença entre os valores de NDVI dos dois sensores, considerando todo o período estudado. Para esta análise o número de *pixels* foi variável de acordo com área do município, apresentada na Tabela 1.

Para o estabelecimento de relações empíricas entre os dois conjuntos de valores de NDVI os valores foram tabulados mês a mês, considerando todo o conjunto de 11.817 *pixels* somente para o último ano safra, considerando apenas os meses do ciclo do cultivo da soja (outubro de 2005 a março de 2006).

3. Resultados e Conclusões

Os valores médios do NDVI entre os sensores diferem em números absolutos quando comparados mês a mês, sobre um mesmo município, como pode ser observado na Figura 2 que apresenta os perfis temporais dos valores obtidos sobre o município de Assis Chateaubriand – PR e na Figura 3 que mostra os perfis temporais dos valores obtidos para o município Campinas do Sul – RS.

Figura 2 – Perfis temporais do NDVI obtidos com os sensores SPOT Vegetation e NOAA/AVHRR para o município de Assis Chateaubriand – PR

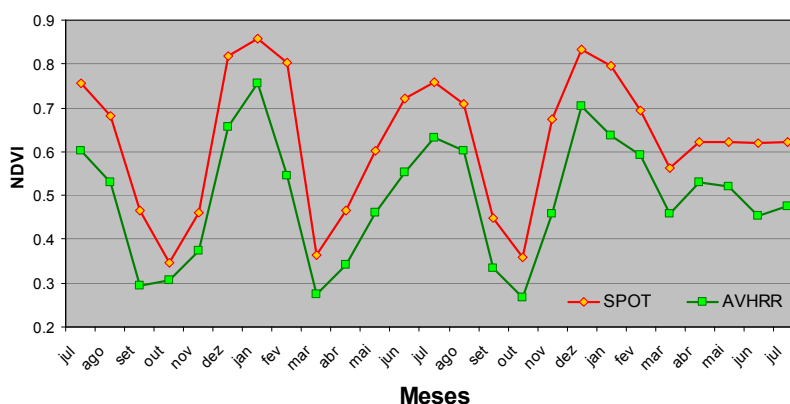
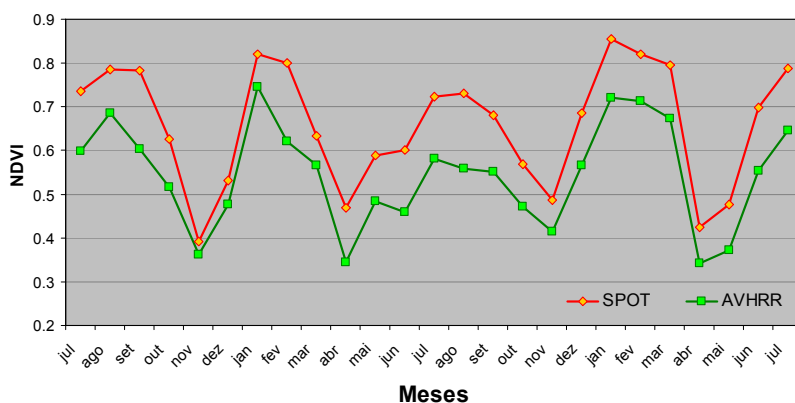


Figura 3 - Perfis temporais do NDVI obtidos com os sensores SPOT Vegetation e NOAA/AVHRR para o município de Capinas do Sul - RS



Para uma melhor análise desta variação foi calculada a amplitude da variação entre dois índices mês a mês para os 20 municípios avaliados (Tabela 2 e 3). Através do teste de análise de variância, considerando cada municípios com um conjunto de dados ($\alpha=5\%$) verificou-se que a média mensal da diferença dos valores do NDVI obtidos com o sensor SPOT Vegetation e NOAA/AVHRR calculada sobre todos municípios não é constante ao longo do período avaliado, nas duas regiões estudadas (Paraná e Rio Grande do Sul).

Tabela 2 – Amplitude mensal dos valores de NDVI obtido a partir da relação NDVI SPOT – NDVI NOAA para cada um dos 10 municípios avaliados, do Paraná.

Mês/ano	Mun 1	Mun 2	Mun3	Mun4	Mun 5	Mun 6	Mun7	Mun8	Mun9	Mun10
jul-04	0,153	0,134	0,140	0,156	0,133	0,189	0,157	0,198	0,169	0,153
ago-04	0,153	0,119	0,103	0,175	0,101	0,123	0,163	0,113	0,168	0,131
set-04	0,171	0,181	0,141	0,091	0,143	0,062	0,096	0,061	0,102	0,161
out-04	0,041	0,033	0,032	0,078	0,050	0,045	0,060	0,043	0,115	0,048
nov-04	0,088	0,059	0,072	0,072	0,076	0,099	0,080	0,072	0,067	0,094
dez-04	0,161	0,228	0,175	0,150	0,210	0,183	0,202	0,144	0,130	0,109
jan-05	0,102	0,114	0,139	0,091	0,115	0,141	0,110	0,123	0,081	0,133
fev-05	0,258	0,097	0,179	0,117	0,111	0,123	0,132	0,119	0,121	0,271
mar-05	0,090	0,059	0,102	0,096	0,099	0,089	0,103	0,078	0,101	0,083
abr-05	0,125	0,115	0,162	0,093	0,127	0,171	0,083	0,202	0,134	0,125
mai-05	0,141	0,115	0,109	0,098	0,117	0,122	0,101	0,135	0,108	0,136
jun-05	0,169	0,161	0,136	0,180	0,136	0,153	0,177	0,153	0,171	0,172
jul-05	0,127	0,124	0,128	0,131	0,126	0,153	0,137	0,150	0,143	0,133
ago-05	0,106	0,106	0,116	0,121	0,115	0,117	0,114	0,094	0,119	0,109
set-05	0,115	0,101	0,094	0,095	0,087	0,039	0,068	0,048	0,094	0,089
out-05	0,094	0,075	0,107	0,099	0,067	0,103	0,092	0,065	0,110	0,086
nov-05	0,215	0,198	0,169	0,117	0,167	0,185	0,095	0,197	0,133	0,190
dez-05	0,129	0,128	0,106	0,091	0,115	0,104	0,110	0,107	0,094	0,126
jan-06	0,160	0,135	0,085	0,098	0,097	0,124	0,098	0,099	0,094	0,157
fev-06	0,101	0,075	0,111	0,067	0,081	0,081	0,065	0,075	0,075	0,097
mar-06	0,104	0,193	0,113	0,191	0,157	0,136	0,173	0,172	0,178	0,105
abr-06	0,092	0,068	0,097	0,077	0,088	0,137	0,095	0,137	0,100	0,101
mai-06	0,102	0,107	0,102	0,108	0,098	0,109	0,100	0,114	0,118	0,108
jun-06	0,168	0,144	0,128	0,152	0,177	0,146	0,163	0,152	0,134	0,165
jul-06	0,146	0,140	0,141	0,161	0,153	0,154	0,162	0,161	0,157	0,147

Tabela 3 – Amplitude mensal dos valores de NDVI obtido a partir da relação NDVI SPOT – NDVI NOAA para cada um dos 10 municípios avaliados, do Rio Grande do Sul.

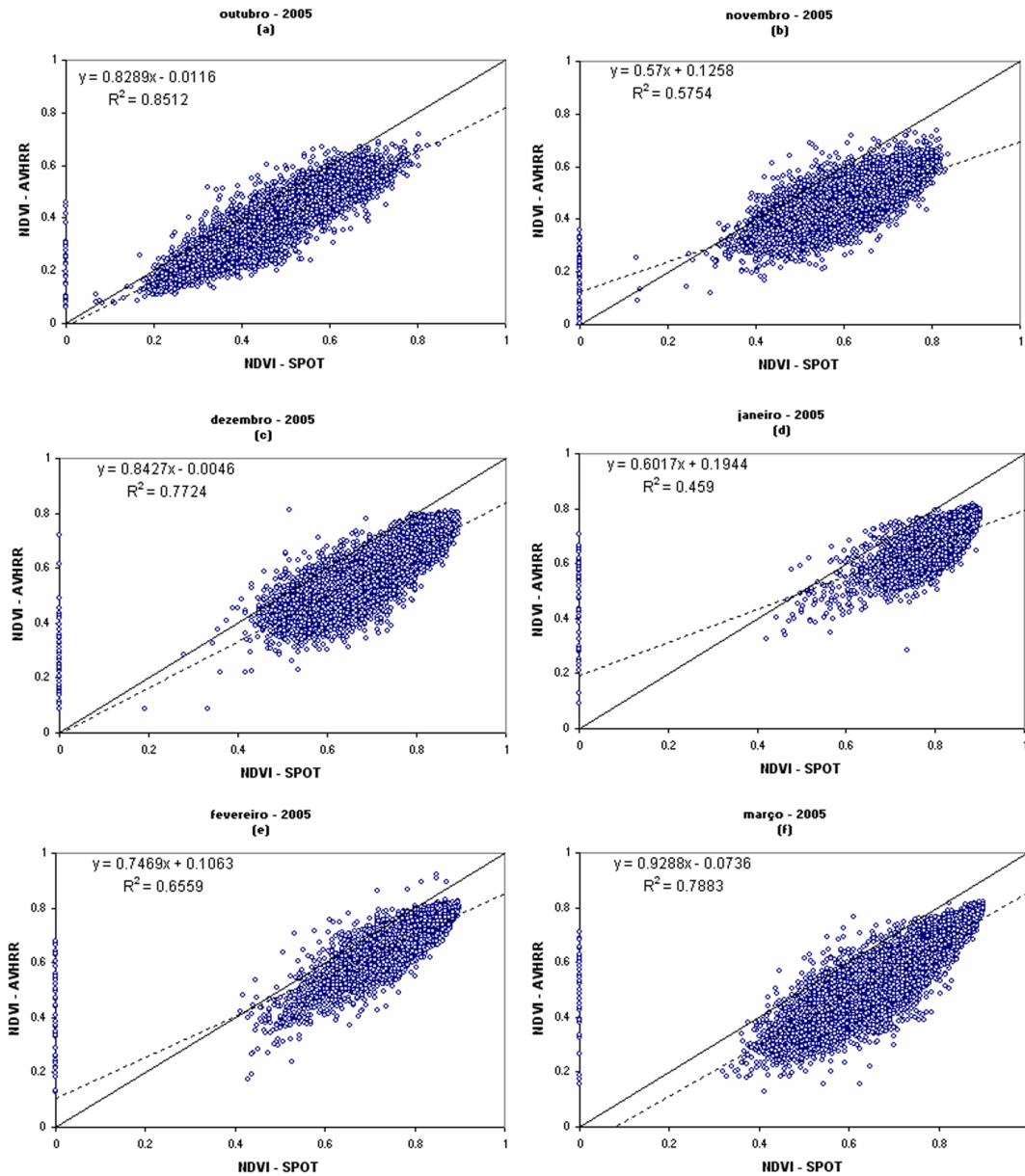
Mês/ano	Mun 1	Mun 2	Mun3	Mun4	Mun 5	Mun 6	Mun7	Mun8	Mun9	Mun10
jul-04	0.137	0.073	0.141	0.153	0.150	0.142	0.145	0.136	0.170	0.162
ago-04	0.100	0.010	0.089	0.111	0.090	0.102	0.095	0.096	0.104	0.124
set-04	0.181	0.075	0.130	0.179	0.156	0.162	0.163	0.153	0.185	0.226
out-04	0.110	0.032	0.122	0.090	0.127	0.106	0.125	0.109	0.109	0.085
nov-04	0.030	0.000	0.038	0.054	0.053	0.039	0.036	0.038	0.055	0.084
dez-04	0.055	0.021	0.051	0.078	0.066	0.052	0.051	0.048	0.064	0.097
jan-05	0.075	0.014	0.084	0.092	0.089	0.075	0.102	0.076	0.098	0.097
fev-05	0.178	0.145	0.181	0.260	0.211	0.202	0.205	0.189	0.176	0.240
mar-05	0.068	0.031	0.134	0.114	0.123	0.080	0.127	0.077	0.172	0.120
abr-05	0.124	0.102	0.145	0.144	0.134	0.138	0.129	0.136	0.151	0.139
mai-05	0.106	0.063	0.105	0.136	0.119	0.124	0.111	0.107	0.145	0.165
jun-05	0.142	0.056	0.118	0.138	0.138	0.124	0.118	0.130	0.125	0.155
jul-05	0.142	0.060	0.135	0.143	0.129	0.136	0.136	0.135	0.119	0.162
ago-05	0.171	0.088	0.170	0.141	0.155	0.155	0.169	0.171	0.168	0.156
set-05	0.130	0.049	0.141	0.135	0.143	0.127	0.142	0.128	0.131	0.144
out-05	0.099	0.057	0.086	0.124	0.121	0.107	0.102	0.104	0.146	0.111
nov-05	0.072	0.025	0.090	0.091	0.095	0.074	0.086	0.081	0.066	0.110
dez-05	0.120	0.038	0.106	0.133	0.097	0.120	0.099	0.142	0.082	0.130
jan-06	0.135	0.042	0.134	0.141	0.159	0.139	0.134	0.128	0.146	0.151
fev-06	0.108	-0.002	0.090	0.110	0.105	0.100	0.081	0.093	0.078	0.110
mar-06	0.122	0.009	0.124	0.114	0.114	0.116	0.116	0.110	0.116	0.131
abr-06	0.082	0.067	0.093	0.135	0.115	0.103	0.102	0.087	0.145	0.122
mai-06	0.104	0.041	0.072	0.085	0.084	0.076	0.077	0.085	0.092	0.117
jun-06	0.144	0.055	0.144	0.176	0.157	0.134	0.147	0.130	0.139	0.174
jul-06	0.141	0.028	0.134	0.137	0.125	0.143	0.147	0.138	0.128	0.147

Os gráficos da Figura 4 apresentam uma análise pixel-à-pixel da distribuição dos 11.817 pontos analisados. Os valores de determinação (R^2) entre os dois conjuntos de dados de NDVI e uma equação de regressão linear empírica para cada um dos 6 meses analisados, que correspondem os meses da safra de verão 2005/2006 (de outubro a março).

Observa-se que em períodos de grande dispersão dos valores de NDVI como nos meses de outubro (que apresenta valores de NDVI entre 0,2 a 0,7) e março (com valores de NDVI entre 0,4 a 0,9) os valores do coeficiente de determinação foram altos, bem como no mês de dezembro, onde os valores de NDVI estão concentrados entre 0,6 e 0,8. Cabe ressaltar que os meses de outubro e março representam o início e o final do ciclo de cultivo da soja na região sul do Brasil.

De acordo com o calendário agrícola médio, o período preferencial de semeadura em novembro determina baixa densidade, ou mesmo ausência de biomassa, correspondendo a valores de NDVI associado ao crescimento e desenvolvimento da biomassa, notadamente da cultura da soja no Rio Grande do Sul (Fontana *et al.*, 2002). Já o mês de dezembro representa o final do período vegetativo para a maior parte das cultivares utilizadas nesta região. Esta é uma fase bem definida uma vez que o florescimento da soja (que marca o início do período reprodutivo) é definido pelo fotoperíodo, tornando o final deste estágio homogêneo. Já ao considerarmos o período de floração, enchimento de grãos e maturação fisiológica que ocorre nos meses de janeiro e fevereiro para a maioria dos cultivares, existe uma menor correlação entre os valores de NDVI obtido pelos dois sensores.

Figura 4 – Gráficos de dispersão da safra de verão 2005/2006 (de outubro a março).



Ressalta-se que nestas fases do ciclo fenológico, existem variações na fisiologia da planta que podem ser detectadas diferentemente pelos dois sensores analisados, em função do posicionamento e largura das bandas do vermelho e infravermelho, mais estreitas no SPOT Vegetation, com o vermelho localizado em um máximo de absorção da clorofila, quando comparado ao NOAA/AVHRR. Estas características da resolução espectral dos sensores aliadas às características fisiológicas da vegetação podem influenciar no menor R^2 observado.

4. Conclusão

Dada a forte variabilidade na estimativa do NDVI observada na safra 2005/2006 e obtida somente pela comparação entre sensores, como um resultado esperado, não foi confirmada a possibilidade destes dois sensores atuarem como simples substituidores mútuos de dados. Foi observado que o coeficiente de determinação (R^2) entre os dois conjuntos de dados é significativamente variável de um mês para outro. Por isso, alguma relação com as variações do ciclo da cultura da soja deve ser ponderada com cautela.

Para o uso destas imagens em modelos agrometeorológicos-espectrais recomenda-se parametrizações distintas para cada um dos sensores e o uso concomitante das duas parametrizações, em caráter complementar, na geração de informações mais confiáveis sobre as condições da vegetação.

5. Referencias

Carreiras, J. M. B., Shimabukuro, Y. E., Pereira, J. M. C., 2002, Fraction images derived from SPOT-4 VEGETATION data to assess land-cover change over the State of Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, **23**, 4979-4983.

Vegetation Programme. Disponível em: < <http://www.vgt.vito.be/> > último acesso em: setembro 2006.

Goetz, S. J., 1997, Multi-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland. **International Journal of Remote Sensing**, **18**, 71-94.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Censo 2002 - Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php/> > último acesso em: setembro 2006.

Kogan, F. N., 2001, Operational space technology for global vegetation assessment. **Bulletin of American Meteorological Society**, **82**, 1949-1964.

Kogan, F. N., 2002, World droughts in the millennium from AVHRR-based vegetation health indices. **Eos, Transactions, American Geophysical Union**, **83**, 557-564.

Kogan, F., Stark, R., Gitelson, A., Jargalsaikhan, L., Dugrajav, C., and Tsooj, S. 2004, Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices. **International Journal of Remote Sensing**, **25**, 2889-2896.

Köppen, W., 1948, Climatologia: con un Estudio de los Climas de la Tierra. Fondo de Cultura Económica, México, 466p.

LIU, W. T; Kogan, F., 2002, Monitoring Brazilian soybean production using NOAA/AVHRR based vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, **23**, 1161-1180.

Melo, R. W., 2003, Desenvolvimento de um modelo agrometeorológico-espectral de estimativa do rendimento da soja para o Estado do Rio Grande do Sul. M.Sc. thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Motta, J. L. G.; Fontana, D. C. Weber, E.; 2003, Temporal evolution of NDVI/NOAA in areas covered by *pixels* with variable proportion of soybean. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, **11**, 353-369.

Rao, C.R.N. and J. Chen, 1999, Revised post-launch calibration of the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer on board the NOAA-14 spacecraft, **International Journal of Remote Sensing**, **20**, 3485-3491.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A., Deering, D. W. and Harlan, J. C., 1974, Monitoring the vernal advancement and retrogradation (greenwave effect of natural vegetation), NASA/GSFC type III Final Report, Greenbelt, MD.

Xiao, X., Boles, S., Frohling, S., Salas, W., Moore III, B., Li, C., He, L., Zhao, R., 2002, Landscape-scale characterization of cropland in China using Vegetation and Landsat TM images. **International Journal of Remote Sensing**, **23**, 3579-3594.