

**Variação das Medidas Espectrais Tomadas com Espectrorradiômetro
ao Longo do Ciclo de Crescimento da Soja (Glycine max (L.)
Merrill)**

MAURO A. H. ANTUNES¹
EDUARDO D. ASSAD²
GETÚLIO T. BATISTA¹

¹INPE-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil

²EMBRAPA/CPAC-Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária
Caixa Postal 700023
73.300 - Planaltina, DF, Brasil

Abstract. The objective of this paper is to evaluate the patterns of spectral and agronomic variables of 5 soybean varieties through developing cycle. In this study it was used the bidirectional reflectance factor measured with a spectroradiometer and integrated in TM3 and TM4 bands, and vegetation indices calculated from these bands. The TM3 band decreased until reach the minimum value for the full developed crop. The TM4 band and vegetation indices increased rapidly until reach the maximum value. In the final of the crop cycle they decreased in consequence of the leaf senescence. It was found that inclination characterized vegetation indices did not have a good performance in monitoring the crop along the crop cycle, because they reach the saturation for low leaf area index values. Instead, distance characterized vegetation indices showed a good performance for monitoring the 5 varieties along the crop cycle. These indices, namely PVI and WDVI, was found to be useful to separate soybean varieties.

Introdução

Para uma eficiente utilização do sensoriamento remoto para a o monitoramento de culturas agrícolas, é importante que se conheça a dinâmica temporal dos parâmetros agronômicos e espectrais destas, verificando o padrão que estes desenvolvem ao longo do ciclo, e as diferenças entre os índices para cada parâmetro agronômico. A identificação dos parâmetros que podem ser monitorados e dos índices de vegetação mais

adequados é fundamental para o eficiente uso dos recursos propiciados pelos sensores remotos.

Há na literatura um grande número de índices de vegetação voltados para a avaliação do estado atual da vegetação. Estes índices são reportados serem sensíveis às variáveis biofísicas do dossel tais como índice de área foliar (IAF) e fitomassa [Pearson e Miller (1972), Rouse et al. (1974), Richardson e Wiegand (1977),

Tucker (1979), Tucker et al. (1979b), Huete (1988), Baret et al. (1989b), Clevers (1989), Major et al., (1990), Baret e Guyot (1991), Shultis (1991) e Antunes et al. (1993)], e para eliminarem os efeitos das propriedades espectrais dos solos nas relações entre variáveis espectrais e biofísicas do dossel.

Os índices que mais têm sido utilizados na literatura são o RVI [Pearson e Miller (1972)], o NDVI e o TVI [Rouse et al. (1974)], o PVI [Richardson e Wiegand (1977)] e os índices em de várias bandas (n espaços) [Jackson (1983)]. Mais recentemente foram introduzidos o SAVI [Huete (1988)], o WDVI [Clevers (1989)] e o TSAVI [Baret et al. (1989a)].

Neste trabalho os índices são calculados utilizando-se as bandas TM3 e TM4 do Landsat, localizadas respectivamente na região do vermelho (V) e do infravermelho (IVP) do espectro eletromagnético. Estes índices são dados pelas seguintes fórmulas:

$$RVI = IVP/V$$

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V)$$

$$TVI = (NDVI + 0,5)^{1/2}$$

$$PVI = [(V_{solo} - V_{veg})^2 + (IVP_{solo} - IVP_{veg})^2]^{1/2}$$

$$SAVI = [(IVP - V) / (IVP + V + L)] (1 + L)$$

$$TSAVI = \frac{a (IVP - a) (V - b)}{(V) + (a IVP) - (a b)}$$

$$WDVI = IVP - cV,$$

onde:

L é uma constante igual a 0,5;

$$c = IVP_{solo} / V_{solo};$$

"a" e "b" são a inclinação e o intercepto da linha de solo no par ordenado IVP versus V.

Este trabalho tem por objetivo estudar a dinâmica do índice de área foliar, da fitomassa e dos índices de vegetação durante o ciclo de 5 variedades de soja plantadas em experimento de campo, para fins de monitoramento através de sensores remotos.

Metodologia

Para este trabalho foram utilizados os dados agronômicos e espectrais coletados em 5 variedades de soja, cultivada em condições experimentais na EMBRAPA/CPAC, município de Planaltina-DF. Foram utilizadas as parcelas 1, 4, 7, 10 e 14 (P1, P4, P7, P10 e P14) do experimento, que correspondem respectivamente às variedades Doko, Cristalina, BR 79-31339, Eureka e Savana. Quanto à duração do ciclo do plantio até a colheita, estas variedades têm o seguinte comportamento:

- Doko: 135-140 dias;
- Cristalina: 134 dias;
- BR 79-31339: semelhante à Doko.
- Eureka: 106 dias;
- Savana: 136 dias;

O experimento foi implantado em um Latossolo vermelho escuro, sendo que a parcela 14 recebeu uma adubação por metro linear de 9 g de superfosfato triplo, 5 g de cloreto de potássio e 0,8 g de FTE - BR12, enquanto que as demais receberam uma adubação de 45 g de superfosfato triplo, 100 g de superfosfato simples, 8,4 g de cloreto de potássio e 2 g de FTE - BR12, por metro linear.

As parcelas de soja foram plantada em 04/01/90, com dimensões de 5 x 8 metros e fileiras espaçadas de 0,5 metros, semeadas à razão de 20 sementes por metro linear. Uma parte da parcela foi destinada às medições radiométricas e outra à coleta de plantas em 1,4 m² de área para se obter os parâmetros agrônômicos. Neste trabalho foram utilizados o índice de área foliar (IAF), a fitomassa fresca total (FFT) e a fitomassa fresca de folhas (FFOL).

Para as medidas radiométricas utilizou-se o espectrorradiômetro SPECTRON SE-590 e uma placa de sulfato de bário. O fator de reflectância bidirecional espectral (FRB_η) do dossel e do solo foi obtido através da metodologia de Duggin (1980). Os dados espectrais foram integrados nas bandas TM3 e TM4, e posteriormente transformados em índices de vegetação. Uma descrição mais detalhada dos métodos utilizados nas medições radiométricas pode ser encontrada em Antunes et al. (1993).

Resultados e Discussão

Foi verificado que à exceção do RVI, os índices de vegetação caracterizados por uma inclinação (Baret e Guyot, 1991) tiveram uma correlação muito alta, mostrando que contêm informações semelhantes. Para as 225 parcelas do experimento todo, obteve-se valores de r² de 0,996 entre NDVI e TVI, de 0,999 entre NDVI e SAVI, de 0,999 entre NDVI e TSAVI, de 0,996 entre TVI e SAVI e de 0,997 entre TVI e TSAVI. Assim, destes serão mostrados apenas o RVI, o NDVI e o TSAVI.

Na Figura 1 observa-se que no geral as 5 variedades tiveram diferenças com relação aos parâmetros agrônômicos, principalmente a partir dos 50 dias após o plantio. Aos 70 dias aproximadamente a parcela 10 estava com as folhas amarelecendo e secando, e portanto a partir desta data não se coletou mais dados agrônômicos e radiométricos na mesma. Com as demais parcelas o amarelecimento e seca das folhas só começou ocorrer a partir dos 106 dias aproximadamente. Somente as parcelas 1 e 7 (Doko e BR 79-31339) tiveram uma queda acentuada do IAF (e da FFOL) a partir dos 85 dias após o plantio.

Para o FRB as 5 parcelas tiveram comportamento mostrado na Figura 2. Na banda TM3 houve o rápido decréscimo do FRB com o aumento do IAF, sendo que no final do ciclo algumas parcelas tiveram um pequeno aumento do FRB devido ao amarelecimento e senescência das folhas. Cabe observar que a parcela 14 manteve baixos valores do FRB mesmo no final do ciclo, indicando que a atividade fotossintética se manteve mesmo quando as outras parcelas apresentaram uma diminuição. Uma melhor uniformidade da distribuição da área foliar desta parcela pode ter contribuído para este comportamento. Para a banda TM4 verifica-se que o FRB teve um rápido aumento no início do ciclo, se manteve alto por algum tempo e a partir de aproximadamente 80 dias após o plantio começou a diminuir, devido ao amarelecimento e queda das folhas. Tucker et al. (1979a) também obteve resultados semelhantes para estas duas bandas, para uma cultura de soja.

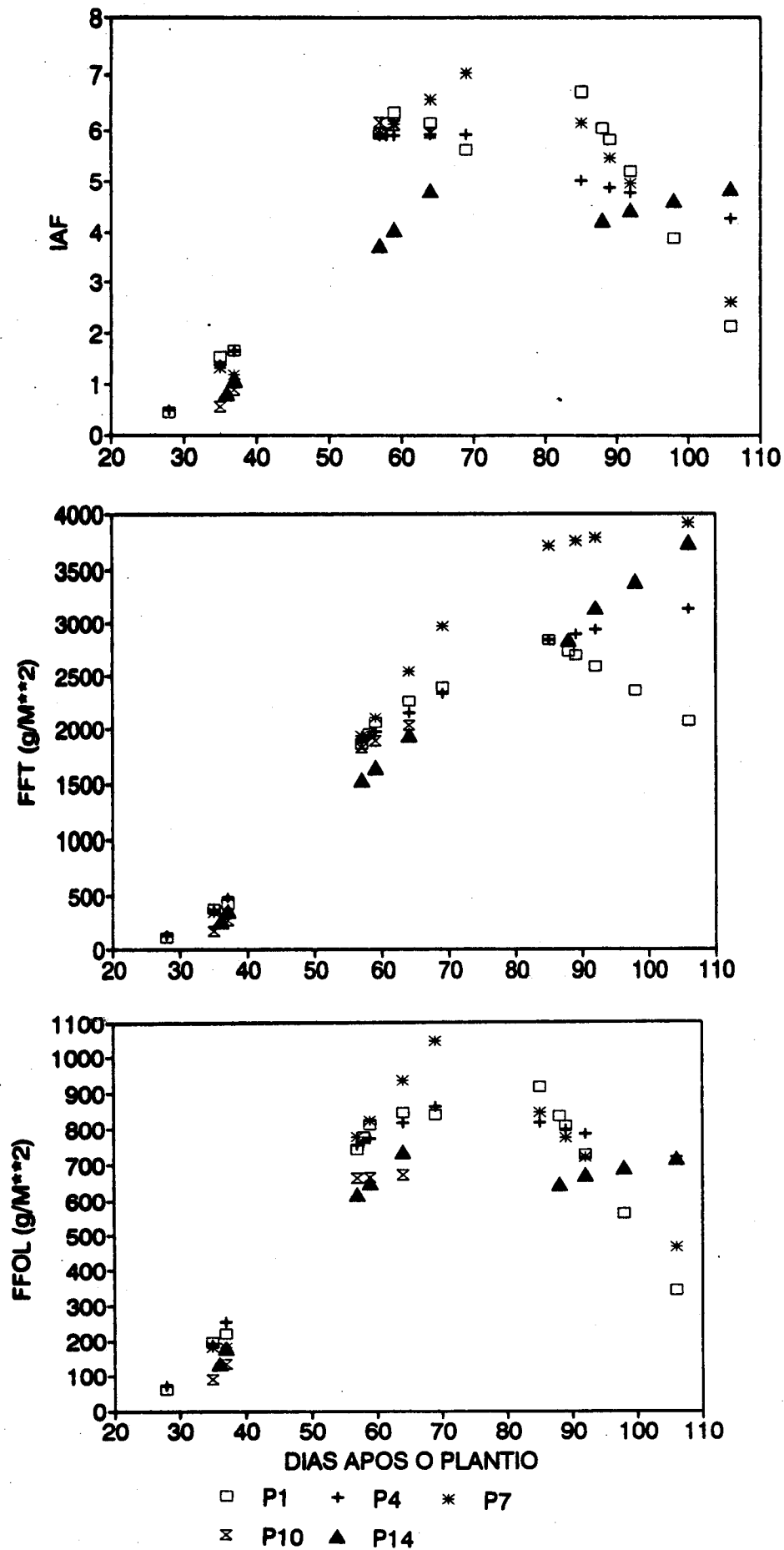
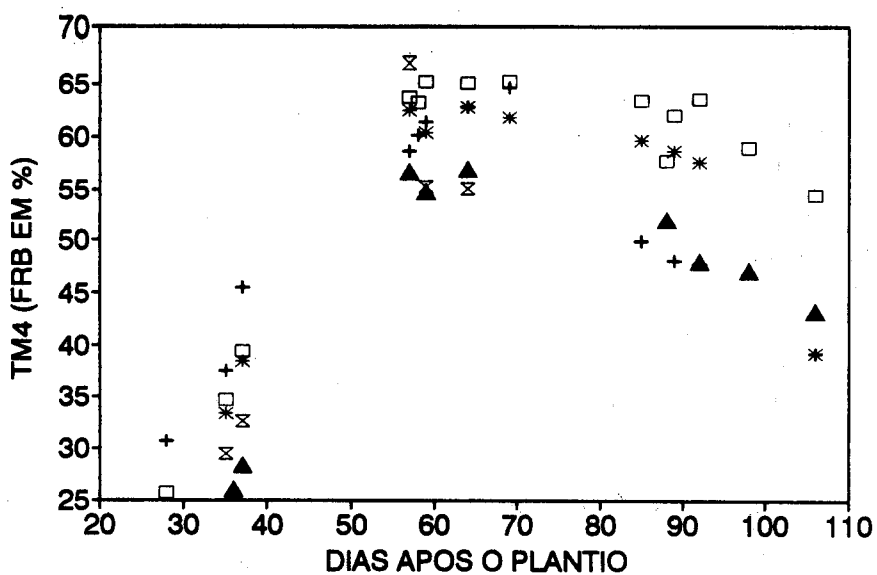
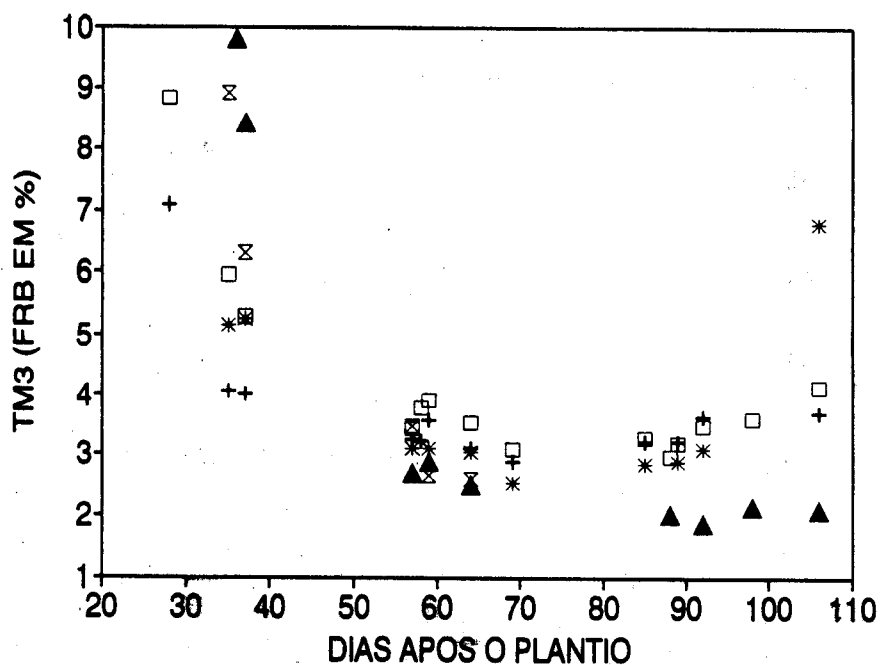


Figura 1 - Dados agronômicos versus dias após o plantio; a) índice de área foliar (IAF); b) fitomassa fresca total (FFT) e; c) fitomassa fresca de folhas (FFOL).



□ P1 + P4 * P7
 x P10 ▲ P14

Figura 2 - FRB versus dias após o plantio; a) banda TM3; b) banda TM4.

Os índices de vegetação RVI, NDVI e TSAVI são mostrados na Figura 3. Destes o único que teve um bom desempenho em termos de diferenciar as variedades foi o RVI. O NDVI e o TSAVI tiveram um rápido aumento no início do ciclo e, próximo aos 60 dias após o plantio já tinham saturado para todas variedades. O padrão encontrado para o NDVI foi verificado também por Tucker et

al. (1979a). Para a soja Holben et al. (1980) e Antunes et al. (1993) verificaram que os índices NDVI e TSAVI saturam para IAF em torno de 3, enquanto que o RVI não satura até IAF 6. Assim, dentre os índices mostrados na Figura 3 o RVI é indicado para separação de variedades e monitoramento de fitomassa e IAF.

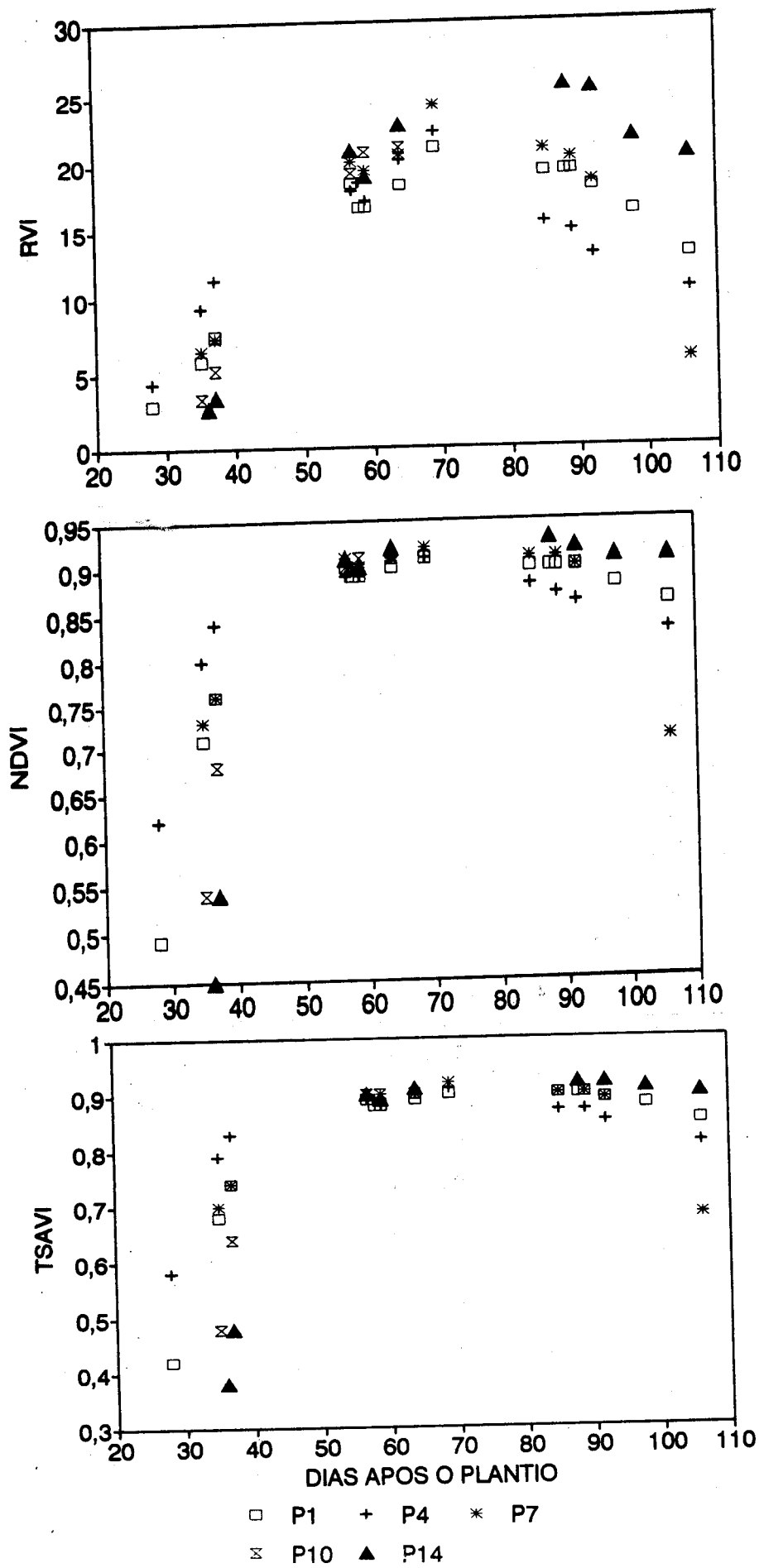


Figura 3 - Índices de vegetação versus dias após o plantio; a) RVI; b) NDVI e; c) TSAVI.

Verifica-se que a parcela 14 teve os maiores valores de RVI, apesar de não ter os maiores valores de IAF. Para a banda TM4 esta parcela teve os menores valores de FRB, e portanto os altos valores de RVI foram ocasionados pelos baixos valores obtidos para banda TM3 (Figura 2). O fato de esta parcela ter baixos valores de FRB para as bandas TM3 e TM4 pode ser devido a uma melhor distribuição do IAF sobre o solo, proporcionando uma alta absorção mesmo para IAF não tão altos como as demais parcelas. Na Figura 1 verifica-se que esta parcela teve um crescimento contínuo da fitomassa, mostrando uma maior eficiência da área foliar para a produção de fitomassa.

Os índices caracterizados por uma distância (PVI e WdVI) se mostraram mais sensíveis às diferenças entre as 5 parcelas (Figura 4), sendo o comportamento destes bastante semelhante entre si. Antunes et al. (1993) verificaram que estes dois índices tiveram uma melhor resposta em relação ao IAF da soja. Verifica-se também pela Figura 4 que as 5 parcelas foram diferentes entre si ao longo de todo o ciclo, mostrando a possibilidade de se separar as variedades através de dados de sensores remotos transformados nestes dois índices de vegetação.

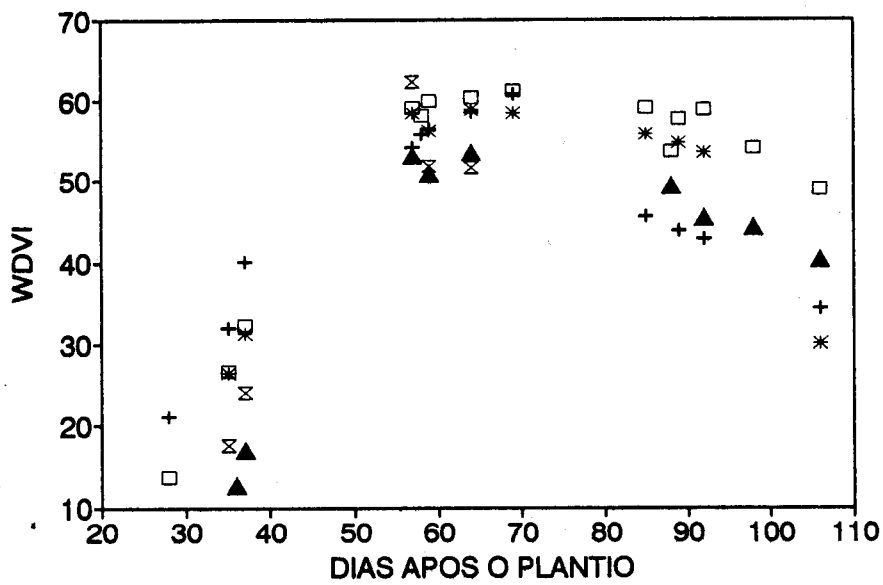
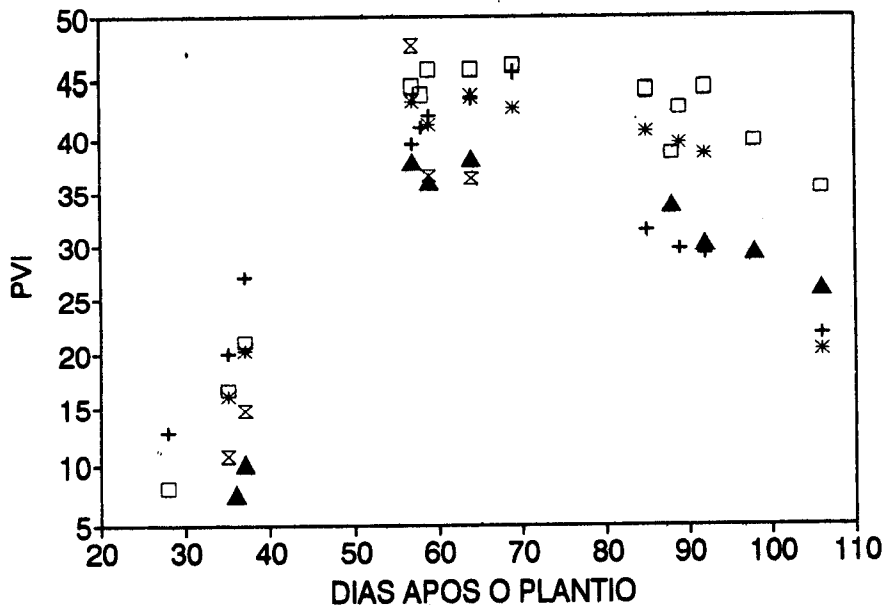
Conclusões

O conhecimento do padrão de desenvolvimento das variáveis agrônomicas e dos índices de vegetação é de fundamental importância para a utilização eficiente do sensoriamento remoto para o monitoramento de culturas. Assim, da análise do resultados conclui-se que alguns índices de vegetação têm

melhor potencial para serem utilizados do que outros. À exceção do RVI os índices caracterizados por uma inclinação não tiveram uma boa resposta para as variáveis agrônomicas como o índice de área foliar, para a fitomassa fresca de folhas e para a fitomassa total. Isto se deveu à saturação destes índices para baixos valores de índice de área foliar. O PVI e o WdVI tiveram uma boa resposta às variáveis agrônomicas do dossel, se mostrando mais adequados para o monitoramento de culturas através de dados de sensoriamento remoto. As diferenças entre as parcelas para os valores destes dois índices ao longo do ciclo da cultura sugere a possibilidade de utilização para a separação de variedades através de índices.

Referências

- Antunes, M.A.H.; Batista, G.T.; Assad, E.D.; Moreira, M.A. . Utilização de medidas espectrais para o monitoramento da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) ao longo do ciclo de crescimento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7. 10-14 de maio, 1993, Curitiba, PR. (no prelo).
- Baret, F.; Guyot, G.; Major, D.J. TSAVI: A vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI and APAR estimation. 12th Canadian Symp. on R. Sens., 10-14 July, 1989a, Vancouver, Canada. p. 1355-1358.



□ P1 + P4 * P7
 x P10 ▲ P14

Figura 4 - Índices de vegetação versus dias após o plantio; a) PVI; b) WdVI.

Baret, F.; Guyot, G.; Major, D.J. Crop biomass evaluation using radiometric measurements. *Photogrammetria*, 43(5)241-256, 1989b.

Baret, F.; Guyot, G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR measurements. *R. Sens. Envir.* 35(2-3)161-173, 1991.

- Clevers, J.G.P.W. The application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for soil moisture. *R. Sens. Envir.* 29(1)25-37, 1989.
- Duggin, M.J. The measurement of reflectance factors. *Photog. Eng. R. Sens.* 46(5)643-647, 1980.
- Holben, B.N.; Tucker, C.J.; Fan, C.J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. *Phot. Eng. R. Sens.* 46(5)651-656, 1980.
- Huete, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *R. Sens. Envir.* 25(3)295-309, 1988.
- Jackson, R.D. Spectral indices in n-space. *R. Sens. Envir.* 13:409-421, 1983.
- Major, D.J.; Baret, F.; Guyot, G. A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. *Int. J. R. Sens.* 11(5)727-740, 1990.
- Pearson, R.L.; Miller, L.D. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado. *Int. Symp. on R. Sens. Envir.*, 8., Ann Arbor, 2-6 Oct. 1972. *Proc. Ann Arbor, ERIM, 1972. V. 2*, p. 1355-1379.
- Richardson, A.J.; Wiegand, C.L. Distinguishing vegetation from soil background information. *Phot. Eng. R. Sens.* 43(12)1541-1552, 1977.
- Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W.; Harlan, J.C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation.** NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD. 371 p.
- Shultis, J.K. Calculated sensitivities of several optical radiometric indices for vegetation canopies. *R. Sens. Envir.* 38(3)211-228, 1991.
- Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *R. Sens. Envir.* 8(2)127-150, 1979.
- Tucker, C.J.; Elgin, J.H.; McMurtrey, J.; Fan, C.J. Monitoring corn and soybean crop development with hand-held radiometer spectral data. *R. Sens. Envir.* 8(3)237-248, 1979a.
- Tucker, C.J.; Elgin, J.H.; McMurtrey, J. Temporal spectral measurements of corn and soybean crops. *Phot. Eng. R. Sens.* 45(5)643-653, 1979b.

Agradecimentos: Este trabalho faz parte da Fase IV do Projeto ESTIMA mantido pela Fundação Banco do Brasil. Assim os autores agradecem à Fundação Banco do Brasil pelo suporte financeiro para a campanha de campo e aquisição de equipamentos.