

# RESPOSTA ESPECTRAL DA SOJA E SUA RELAÇÃO COM PARÂMETROS AGRONÔMICOS

Getúlio T. Batista  
Bernardo F. T. Rudorff  
Antonio Francisco P. Oviedo

Instituto de Pesquisas Espaciais  
Ministério da Ciência e Tecnologia  
Caixa Postal 515, 12201 - São José dos Campos, SP

## RESUMO

O presente trabalho visou relacionar a resposta espectral de duas variedades de soja (Santa Maria e IAC-9) com parâmetros agronômicos. Estas variedades foram plantadas em parcelas experimentais em três diferentes períodos com intervalo de um mês entre cada plantio. Sobre cada parcela foram obtidas medidas radiométricas ao longo do ciclo da cultura (5 missões com intervalos de aproximadamente 20 dias). Foi utilizado o radiômetro portátil Abe Sekkei Modelo 2703MM de 17 bandas espectrais no comprimento de onda de 400 nm a 1050 nm. As medidas de biomassa verde foram estimadas no início de três estádios fenológicos: floração, frutificação e maturação. A estimativa da percentagem de cobertura do solo foi feita a partir de fotografias verticais obtidas simultaneamente às medidas radiométricas. A altura das plantas foi estimada com base na média de 10 observações realizadas logo após as medidas radiométricas. O rendimento dos grãos foi obtido pela colheita de toda a parcela. Os resultados mostraram que a resposta espectral da soja, transformada em índice vegetativo (razão entre a banda do infravermelho próximo-850 nm pela banda do vermelho-650 nm) foi significativamente correlacionada com todos os parâmetros agronômicos analisados. O índice vegetativo explicou próximo à 80% da variação da biomassa verde. Este resultado foi considerado relevante, uma vez que as medidas radiométricas podem ser utilizadas com confiabilidade para estimar a biomassa verde da soja, plantada como cultura de inverno, com a finalidade de suplementação alimentar para o gado, na região do Vale do Paraíba.

## ABSTRACT

The spectral responses of two soybean varieties planted monthly (in a period of three months) and their relationship to percent ground cover, biomass, height and yield were investigated. Bidirectional reflectance factor was measured throughout the growing period (five campaigns at 20 day interval, approximately) of six experimental plots of 5 x 10 m size (three plots of each variety planted at one month interval) using a 17 band (visible and NIR) portable radiometer. In each campaign, six measurements per plot were taken in order to obtain a representative estimate of the plot reflectance factor. Plant height and development stage were estimated concomitant to the radiometric measurements; biomass estimates were sampled three times per plot during specific development stages (flowering, grain filling and maturation) and total plot production was measured at harvest. The percent ground cover was estimated through photographs taken simultaneously to the radiometric measurements. Results indicated that differences in reflectance between the two varieties correspond to differences in their biomasses. However, in the visible peaked at 550 nm there is a slight difference between the two varieties. The ratio vegetation index explained close to 80 percent of the variation in the fresh biomass. This result is particularly important because these varieties are planted during the winter growing season for biomass production to be used for cattle feeding in the Paraíba river valley.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja no Brasil sofreu uma grande expansão durante a última década onde se observou um salto na produção de 1,5 (1970) para 15 milhões de toneladas (1980) (EMBRAPA 1981). Para a safra de 1987/88, estima-se uma produção de 18 milhões de toneladas de acordo com informações oficiais. A maior parte da área plantada com soja (10 milhões de ha, aproximadamente) situa-se nas regiões sul e central do País. Ainda, existe um grande potencial para incorporar outras áreas à produção de soja especialmente nas regiões norte e nordeste do Brasil (EMBRAPA 1981).

Entre os diversos fatores que determinaram o aumento na produção de soja no Brasil, nos últimos anos, podemos citar: demanda no mercado externo, crédito para implantação de lavouras, incentivo à criação de cooperativas, possibilidade do plantio de trigo na safra de inverno, introdução de variedades mais produtivas e criação de centros de pesquisas tal como o Centro Nacional de Pesquisa da Soja (CNPSo), localizado em Londrina, Estado do Paraná.

Como importante resultado das diversas pesquisas realizadas com a soja, temos a introdução de novas variedades, adaptadas às diversas regiões do País. O Vale do Paraíba é tradicionalmente uma região produtora de arroz, com cerca de 15.000 ha irrigados (Miyasaka e Medina, 1981), e apresenta também atividade pecuária significativa. Nesta região pesquisas estão sendo desenvolvidas visando a introdução de duas variedades de soja (Santa Maria e IAC-9) como alternativa para a alimentação do gado durante a estação seca de inverno. Estas variedades de soja podem também ser utilizadas para adubação verde através de rotação de culturas nas áreas destinadas à produção de arroz, mantendo o solo livre de ervas daninhas durante a entre safra. O potencial produtivo destas variedades está sendo testado na Estação Experimental do DAEE em Pindamonhangaba-SP, onde foram selecionadas entre diversas variedades que vem sendo testadas desde 1956 quanto a tolerância ao fotoperiodismo, resistência a baixa temperatura e, tolerância a solos ácidos e mal drenados que são típicos no Vale do Paraíba (Miyasaka e Medina, 1981).

Diversos trabalhos da literatura internacional concluem que a energia refletida pela cultura, em determinados comprimentos de onda do espectro eletromagnético, é significativamente correlacionada com a atividade fotossintética das culturas (Boutton e Tieszen, 1983; Holben et al., 1980; Daughtry et al., 1984; Kollenkark et al., 1981; Blad et al., 1985).

Crist (1982) estabeleceu o perfil espectral da soja, analisando um conjunto de dados bastante grande, resultante de estudos de radiometria de campo. Contudo vários fatores podem determinar desvios neste perfil de resposta espectral da soja, entre eles a data de plantio (precoce ou tardio). Portanto, considera-se importante efetuar tais estudos para a soja plantada como cultura de inverno em condições de clima tropical.

No presente trabalho foram obtidas medidas radiométricas sobre as variedades de soja Santa Maria e IAC-9, plantadas como cultura de inverno, em campo experimental, em três diferentes períodos. A partir das medidas radiométricas foi obtido o índice vegetativo (IVR) que consiste na razão entre a energia refletida na banda do infravermelho próximo (850 nm) e a banda do vermelho (650 nm). Este índice foi correlacionado com a biomassa verde, altura média das plantas, percentagem de cobertura do solo e o rendimento de grãos da parcela.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

O presente trabalho foi realizado no Centro de Pesquisas Hidroagrícolas "Eng. A.G. Borba" do Departamento de Águas e Energia Elétrica-DAEE, localizado em Pindamonhangaba-SP. As coordenadas do Centro de Pesquisas são 22°54'S e 45°25'W.

O experimento foi conduzido sobre seis parcelas de 10 x 5 m nas quais foram plantadas duas variedades (Santa Maria e IAC-9) com intervalo de plantio de um mês (15 de maio, 19 de junho e 15 de julho). O espaçamento nas entre linhas foi de 0,5 m semeando-se 25 sementes por metro linear. As parcelas estavam espaçadas entre si por 2 m e situadas em uma área plana de solo argiloso de baixada o qual foi adubado de acordo com a recomendação padrão para os

solos do Centro Experimental. A cultura foi suprida adequadamente de água através de irrigação por asperção e o controle fitossanitário foi efetuado de acordo com a incidência de pragas e doenças. As ervas daninhas foram controladas manualmente. As medidas radiométricas foram obtidas com o radiômetro portátil Abe Sekkei 2703MM que possui 17 bandas espectrais entre o comprimento de onda de 400 nm a 1050 nm. Foram realizadas 5 missões para obtenção destas medidas sendo que a primeira foi realizada em 25 de agosto de 1987 e as subseqüentes tiveram intervalos entre si de aproximadamente 20 dias. As medidas foram tomadas entre as 10:00 e 14:00 horas em condições de céu aberto. O radiômetro foi posicionado verticalmente sobre a parcela, a uma altura de aproximadamente 3 m com o ângulo de visada de  $10^{\circ}$  captando assim a radiação da cultura em uma área em torno 0,5 m de diâmetro. Estas medidas foram intercaladas com medidas de radiação de uma placa de referência de sulfato de bário ( $BaSO_4$ ). O procedimento usado para coleta destes dados radiométricos seguiu as recomendações sugeridas por Holben et al. (1980) e Biehl e Robinson (1983).

Em cada parcela foram realizadas seis medidas radiométricas por missão, escolhendo-se subjetivamente dentro da parcela áreas consideradas; boa, média e fraca, fazendo-se uma medida sobre a linha e outra sobre a entre linha de forma a representar a parcela como um todo. Simultaneamente a estas medidas foram tomadas fotografias verticais ampliadas em papel fotográfico no tamanho de 9 x 12 cm, as quais foram utilizadas para avaliar a percentagem de cobertura do solo como sugerem Cihlar et al. (1987).

A altura média das plantas por parcela foi obtida logo após cada missão radiométrica, tomando-se a média da altura de 10 plantas. O peso da biomassa verde foi estimado a partir de uma área de  $1m^2$ , escolhida ao acaso, em três fases dos seguintes estádios fenológicos da cultura: início do florescimento, início de enchimento dos grãos e início da maturação. Estes estádios fenológicos nem sempre foram coincidentes com os períodos das medidas radiométricas. O rendimento dos grãos foi estimado pela colheita total da parcela ( $47m^2$ ).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de se fazer as medidas de reflectância da cultura, foi avaliado o desempenho do radiômetro. Em primeiro lugar foi feita a hipótese de que não houve nenhuma mudança na resposta espectral da placa de referência usada durante as 5 missões de medidas radiométricas realizadas, e em segundo lugar que o céu esteve constantemente limpo (sem alteração da camada atmosférica), portanto qualquer mudança nas leituras radiométricas da placa de referência foi devida a radiação solar e/ou devida a instabilidade do radiômetro. Como a radiação solar muda de uma maneira previsível, o desempenho do radiômetro poderia ser avaliado dentro das hipóteses assumidas. Isto pode ser notado na Figura 1 em que a resposta da placa de referência é bastante estável por todo o período de medidas. A maior variação ocorreu em 15 de setembro, quando a diferença entre a maior leitura de radiação (às 10:45) e a menor (às 13:50) foi em torno de 10% para o comprimento de onda de 550 nm e 8% para o comprimento de onda de 850 nm seguindo a variação na geometria sol-alvo. Para os dois comprimentos de onda analisados, a maior variação devida ao ruído foi por volta de 2%. A Tabela 1 mostra a média das reflectâncias, a amplitude dos valores de reflectância, assim como os respectivos coeficientes de variação e desvio padrão para três comprimentos de onda nas cinco missões radiométricas realizadas. Cada valor de reflectância foi calculado fixando a leitura do alvo e usando como referência cinco medidas da placa obtidas no intervalo de tempo de mais ou menos 30 minutos em relação à medida do alvo. Em cada uma das datas, o alvo analisado foi diferente devido à mudança do estádio fenológico da cultura, o que explica em parte a diferença entre as médias das reflectâncias. O coeficiente de variação se manteve tipicamente entre 6 e 10 %.

A Figura 2 mostra a variação sazonal da resposta espectral das duas variedades de soja plantadas em três diferentes datas (15 de maio, 19 de junho e 15 de julho). As curvas espectrais são similares ao padrão apresentado por Bowker et al. (1985).

A Figura 3 mostra o perfil espectral sazonal das seis parcelas analisadas baseado no índice vegetativo IVR, que é obtido pela

razão entre a reflectância da banda do infravermelho próximo centrada em 850 nm e a banda do vermelho centrada em 650 nm. Nesta mesma figura pode ser observado que a variedade Santa Maria (parcela 1 e 3) é mais precoce do que a variedade IAC-9 (parcela 2 e 4). Apesar de poucas medidas terem sido tomadas durante o ciclo de desenvolvimento, a assimetria na variabilidade da soja em torno da média descrita por Crist (1982) é aparente no perfil das parcelas 1, 2 e 4 (Figura 3).

A Figura 4 apresenta de uma forma comparativa a trajetória espectral das variedades de soja estudadas. As parcelas 5 e 6, plantadas mais tarde (15 de julho), apresentam a maior variação no fator de reflectância, tanto no visível quanto no infravermelho próximo.

A Figura 5 mostra que as duas variedades estudadas são espectralmente parecidas. Contudo, na banda do visível, no pico de reflectância do verde (550 nm), a variedade Santa Maria tem uma reflectância ligeiramente maior do que a IAC-9, exceto para a data de 15 de setembro nas parcelas 5 e 6, as quais foram plantadas em 15 de julho e portanto ainda apresentavam uma baixa percentagem de cobertura do solo (menor do que 20%).

A Figura 6 mostra que o índice vegetativo IVR é muito bem correlacionado com todas as variáveis agronômicas estudadas. A correlação com a biomassa verde foi excepcionalmente alta, apesar das medidas radiométricas não terem sido obtidas na mesma data das estimativas da biomassa verde. Este aspecto é bastante encorajador considerando que estas variedades são plantadas com o principal objetivo de produção de biomassa para a alimentação do gado durante o inverno.

Apesar do fato de que todas as variedades foram plantadas durante a estação de inverno, os resultados foram comparáveis com outros trabalhos reportados anteriormente (Perry e Lautenschlager, 1984; Holben et al., 1980; Daughtry et al., 1984; Kollenkark et al., 1981).

Pela análise da Figura 6 pode-se observar que a relação entre a percentagem de cobertura do solo e o índice vegetativo não é linear, especialmente para altas percentagens de cobertura do solo. A Tabela 2

mostra os resultados dos ajustes de diferentes equações pelo método dos mínimos quadrados. Os melhores ajustes foram obtidos com a transformação logarítmica e com a raiz quadrada do índice vegetativo, além da inclusão do termo linear.

#### 4. CONCLUSÃO

Apesar das variedades de soja estudadas terem sido selecionadas para produção de biomassa durante o inverno, suas respostas espectrais no visível e infravermelho próximo são similares aos padrões de reflectância da soja apresentados em pesquisas anteriores.

O índice vegetativo IVR (infravermelho próximo/vermelho) foi altamente correlacionado com todas as variáveis agronômicas estudadas (biomassa verde, percentagem de cobertura do solo, altura da planta e rendimento de grãos). O índice vegetativo IVR explicou 78% da variação na biomassa verde. Este resultado é particularmente relevante considerando que estas duas medidas não foram tomadas na mesma data. Métodos convencionais para estimativas de biomassa verde no campo são bastante trabalhosos, e portanto, medidas espectrais podem se apresentar como um método alternativo para estimativas confiáveis de biomassa verde de soja no Vale do Paraíba.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Florestal de São Paulo que forneceu o radiômetro portátil. Ao Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE) pelo fornecimento da infraestrutura do campo experimental e coleta das medidas agronômicas, e em especial ao Eng<sup>o</sup> Agr<sup>o</sup> Norberto Leite. Os autores também gostariam de expressar seus agradecimentos ao Dr. Raimundo A. Filho e Sr. Carlos A. Steffen pela ajuda nas medidas espectrais de campo, e também à Sra. Eliana Miglioranza e ao estagiário José Ricardo Ramos pela importante ajuda na análise dos dados.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIEHL, L.L.; ROBINSON, B.F. Data acquisition and preprocessing techniques for remote sensing field research. SPIE 356:143-149, Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers Bellingham, WA, 1983.

BOUTTON, T.W.; TIESZEN, L.L. Estimation of plant biomass by spectral reflectance in an East African grassland. J. of Range Management 36 (2): 213-216, 1983.

BOWKER, D.E.; DAVIS, R.E.; MYRICK, D.L.; STACY, K.; JONES, W.T. Spectral reflectances of natural targets for use in remote sensing studies. NASA Reference Publication T139, Scientific and Technical Information Branch, NASA, College Park, MD, 1985.

CIHLAR, J.; DOBSON, M.C.; SCHMUGGE, T.; HOOGEBOOM, P.; JANSE, A.R.P.; BARET, F.; GUYOT, G.; LeTOAN, T.; PAMPALONI, P. Procedures for description of agricultural crops and soil in optical and microwave remote sensing studies. International J. of Remote Sensing, 8 (3): 427-439, 1987.

CRIST, E.P. Analysis of the profile characteristics of corn and soybeans using field reflectance data. AgRISTARS IT-EZ-04130 NAS9-T6538. NASA, Scientific and Technical Information Facility, College Park, MD, 1982.

DAUGHTRY, C.S.T.; GALLO, K.P.; BIEHL, L.L.; KANEMASU, E.T.; ASRAR, G.; BLAD, B.L.; NORMAN, J.M.; GARDNER, B.R. Spectral estimates of agronomic characteristics of crops Machine Processing of Remote Sensed Data Symposium, p348-355, Purdue University, W. Lafayette, IN, 1984.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Programa nacional de pesquisa de soja. EMBRAPA - DID, 115p, Brasília, DF, 1981.

HOLBEN, B.N.; TUCKER, C.J.; FAN, C.J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. Photogrammetric Eng. and Remote Sensing 46 (5) : 651-656, 1980.

KOLLENKARK, J.C.; DAUGHTRY, C.S.T.; BAUER, M.E. Soybean canopy reflectance as influenced by cultural practices. AgRISTARS SR-PI-04038 NAS9-5466, Purdue University, W. Lafayette, IN, 1981.

MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C.; ed. A soja no Brasil, Instituto de Tecnologia de Alimentos, ITAL, 1981.

PERRY, C.R.; LAUTENSCHLAGER, L.F. Functional equivalence of spectral vegetation indices. Remote Sensing of Environment 14: 169-182, 1984.

TABELA 1  
MÉDIA E AMPLITUDE DA REFLECTÂNCIA, COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) E DESVIO PADRÃO  
(S) PARA TRÊS COMPRIMENTOS DE ONDA NAS CINCO MISSÕES REALIZADAS

DATA	PERÍODO (H:M)	COMP. ONDA (nm)	REFLECT. MÉDIA (%)	AMPLITUDE DA REFLECT. (%)	CV (%)	S
25/08	11:32-12:23	550	10.5	9.3-11.7	10.5	1.11
		650	13.6	11.7-15.1	11.3	1.53
		850	28.9	25.7-32.4	10.1	2.93
15/09	11:37-12:25	550	8.08	7.4- 8.7	7.5	0.61
		650	11.2	10.7-12.3	7.5	0.84
		850	30.3	27.5-33.1	8.8	2.67
08/10	11:32-12:26	550	7.3	6.6-7.8	6.8	0.50
		650	12.3	10.9-13.2	7.3	0.91
		850	34.1	30.9-36.3	6.9	2.36
03/11	11:35-12:28	550	7.5	7.1- 8.1	6.4	0.48
		650	4.1	3.8- 4.4	6.5	0.27
		850	61.6	58.9-66.1	6.7	4.14
30/11	11:33-12:33	550	5.8	5.4- 6.3	7.4	0.43
		650	3.1	2.8- 3.5	10.4	0.31
		850	57.1	55.0-60.3	4.2	2.42

TABELA 2  
RELAÇÃO ENTRE PERCENTAGEM DE COBERTURA DO SOLO E O ÍNDICE VEGETATIVO (IVR)

AJUSTE	EQUAÇÃO	R <sup>2</sup>
Linear	$PCS=28.93+5.65*IVR$	0.59
Quadrático	$PCS=0.83+16.49*IVR-0.67*IVR^2$	0.78
Raiz Quadrada	$PCS=-8.44+31.06*IVR^{1/2}$	0.71
Linear/Raiz Quadrada	$PCS=-101.91-17.43*IVR+117.67*IVR^{1/2}$	0.85
Logaritmico	$PCS=6.54+85.73*Log(IVR)$	0.80
Linear/Logaritmico	$PCS=-5.42-5.81*IVR+157.79*Log(IVR)$	0.86

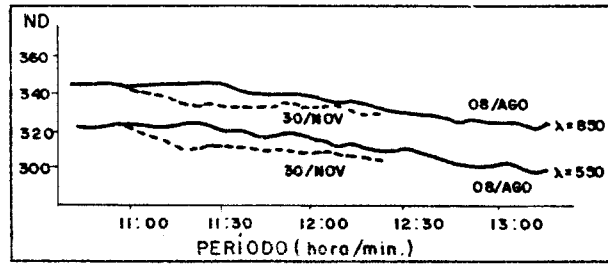


Fig. 1 - Medidas de radiância da placa de referência ( $BaSO_4$ ) para duas datas extremas.

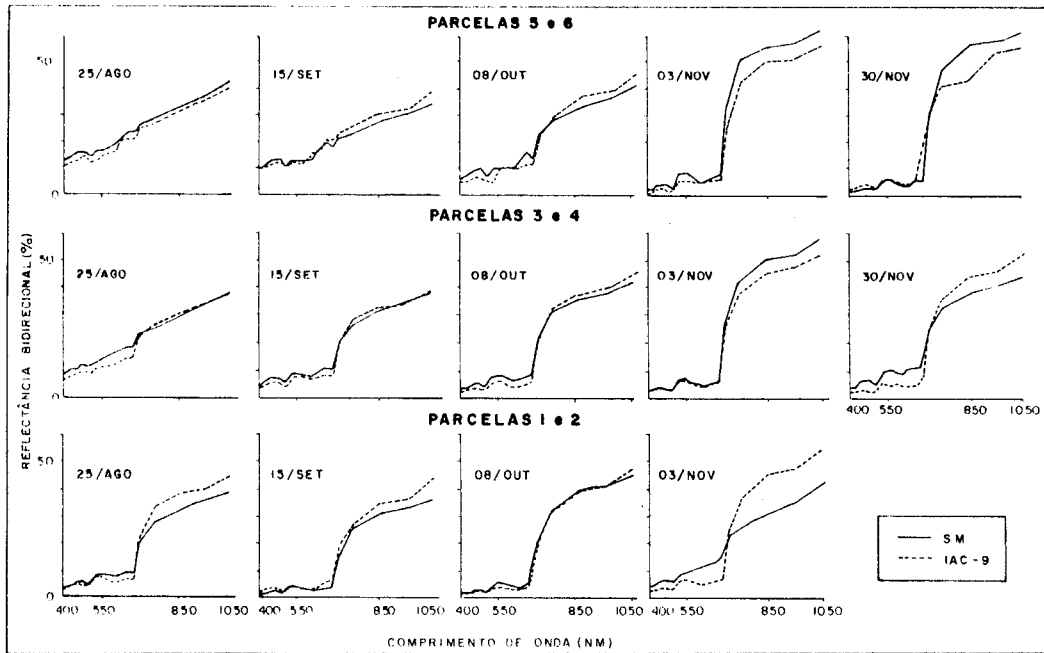


Fig. 2 - Variação sazonal da resposta espectral das seis parcelas, nas cinco datas de duas variedades de soja (SM e IAC-9).

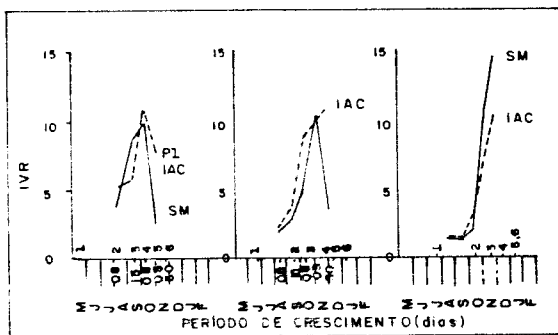


Fig. 3 - Perfil espectral sazonal das seis parcelas baseado no Índice Vegetativo IVR (1 = plantio, 2 = florescimento, 3 = granação, 4 = maturação, 5 = colheita da variedade Santa Maria, 6 = colheita da variedade IAC-9)

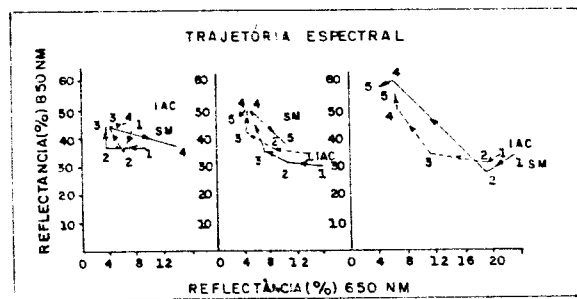


Fig. 4 - Trajetória espectral sazonal das variedades de soja estudadas (1 = 08/ago, 2 = 15/set, 3 = 08/out, 4 = 03/nov, 5 = 30/nov).

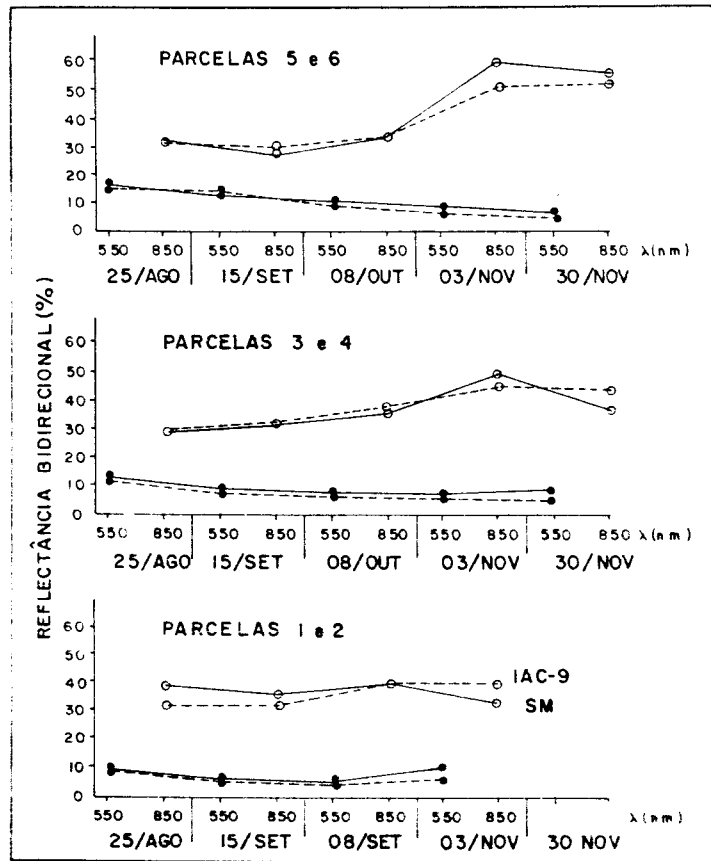


Fig. 5 - Variação sazonal do fator de reflectância em duas bandas espectrais, centradas em 550 nm e 850 nm.

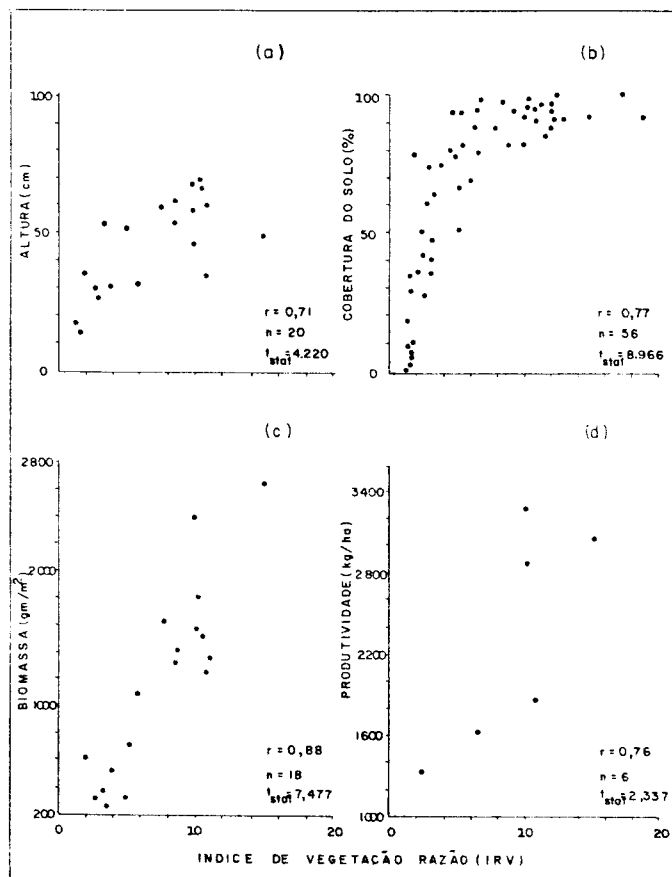


Fig. 6 - Relação entre o índice vegetativo (IVR) e as variáveis agrônômicas.