

Efeitos do Posicionamento das Bandas do Vermelho e do Infravermelho Próximo nas Determinações de NDVI para os Cerrados

Lênio Soares Galvão
Ícaro Vitorello
Raimundo Almeida Filho

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515, 12201-970 São José dos Campos, SP, Brasil
{lenio, Rai}@ltid.inpe.br
icaro@dge.inpe.br

Abstract. The effects of the positioning of red (R) and near-infrared (NIR) bands on the AVIRIS-derived NDVI measurements of Brazilian savannas were investigated. In order to spectrally characterize the reflectance variations in the AVIRIS scene and their influences on the NDVI calculations, principal components analysis (PCA) was applied to a set of 64 AVIRIS bands positioned at the spectral interval of 500-1100 nm. The most representative AVIRIS reflectance spectra of the second and third components, which were related to the variations in the red wavelength and in the near-infrared plateau of the vegetation spectra, provided the basis for the simulation of the R and NIR bands of some broad-band sensors. The results showed that the effects of the band positioning on the NDVI measurement decreased from the green to the nonphotosynthetic vegetation or, by inference, from the rainy to the dry season. However, the use of sensors with the NIR bands positioned at longer wavelengths, or with the R and NIR bands that surpass the red edge domain (690-750 nm), such as MSS and AVHRR, reduces the spectral contrast between the vegetation types. In comparison with the other sensors, from a band positioning perspective, they are less adequate for the inter-annual monitoring of the vegetation in areas of strong rainfall seasonal contrast such as in the case of the Brazilian savannas.

Keywords: band positioning, NDVI, AVIRIS, savannas.

1 Introdução

A utilização de índices de vegetação, gerados a partir de dados de sensoriamento remoto, constitui uma importante estratégia para o monitoramento das alterações naturais, ou produzidas pelo homem, nos ecossistemas. Estes índices têm sido usados na estimativa de vários parâmetros da vegetação como, por exemplo, o índice de área foliar (Holben et al., 1980; Baret e Guyot, 1991) e a quantidade de biomassa verde (Tucker, 1979; Elvidge e Lyon, 1985).

Entretanto, o cálculo dos índices de vegetação pode ser afetado por diversos fatores não-diretamente relacionados com o alvo ou com a superfície de imageamento. Exemplos destes fatores

incluem a geometria de aquisição de dados, a calibração dos sensores e a influência dos efeitos atmosféricos (Price, 1987; Kaufmann e Tanré, 1992; Epiphany e Huete, 1995).

Outro fator que deve ser considerado na determinação destes índices é a influência do posicionamento das bandas espectrais, a qual tem recebido pouca atenção na literatura especializada. Os diferentes sensores multiespectrais em operação adquirem dados em intervalos espectrais geralmente diferentes e com larguras variadas nas faixas do vermelho (VM) e do infravermelho próximo (IVP). Em geral, a banda do VM está posicionada em alguma parte do intervalo 580-700 nm, enquanto a banda do IVP ocupa porções espectrais da faixa 760-1100 nm. Teillet et al. (1997) demonstraram que os valores de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) podem ser significativamente afetados pelas variações da largura da banda do VM.

Neste trabalho, foram investigados os efeitos do posicionamento das bandas do VM e do IVP sobre o cálculo do NDVI em uma área de cobertura vegetal de cerrados na região central do Brasil. Para tal finalidade, foram utilizadas imagens coletadas pelo sensor hiperespectral AVIRIS (Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer) durante a Missão SCAR-B (Smoke, Cloud And Radiation – Brazil). O NDVI é um dos mais freqüentemente utilizados índices de vegetação em estudos globais.

2 Metodologia

2.1. Área de Estudo

As imagens AVIRIS utilizadas no presente trabalho foram adquiridas em agosto de 1995, no pico da estação seca. Os dados foram coletados por uma aeronave a 20 km de altitude em 224 bandas espectrais na faixa 400-2500 nm, com 10 nm de resolução espectral e 20 metros de resolução espacial.

A área de estudo compreende parte do Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros. Ela situa-se entre as coordenadas 14°00' e 14°15' de latitude Sul, e 47°30' e 47°40' de longitude Oeste, próxima a cidade de Alto Paraíso de Goiás (GO). A área é dominada pela presença dos cerrados ou, mais especificamente, de acordo com observações de campo, pela ocorrência de campo limpo, campo sujo e campo cerrado.

2.2. Análise dos Dados

Os efeitos de espalhamento e absorção atmosférica sobre os dados de radiância medidos pelo AVIRIS foram minimizados por um método desenvolvido no *Jet Propulsion Laboratory*, que baseia-se no uso do MODTRAN (Green, 1991; 1995; Green et al., 1993). O algoritmo também propicia a conversão dos dados de radiância para valores de reflectância aparente.

A **Figura 1** é uma composição colorida da área de estudo, resultante do uso das bandas 51 (836 nm), 137 (1651 nm) e 193 (2201 nm), respectivamente, em vermelho, verde e azul, já corrigidas em relação aos efeitos atmosféricos e convertidas para reflectância. A vegetação verde que se distribui ao longo dos canais de drenagem (mata ciliar/galeria) aparece em vermelho na composição colorida, devido a reflectância comparativamente mais alta do *plateau* do infravermelho próximo em relação aos dois outros comprimentos de onda (bandas 137 e 193). A parte central da área, com tonalidade avermelhada, é caracterizada pela presença dominante de campo sujo. A resposta espectral desta área reflete uma mistura de vegetação seca e verde, resultante da provável

regeneração da vegetação em função de queimadas. As áreas em ciano expressam o domínio da vegetação seca (vegetação não-fotossinteticamente ativa). Do ponto de vista litológico, pode-se destacar os quartzitos da Serra das Cobras e do Morro da Conceição, indicados na **Figura 1**.

Do conjunto de 224 bandas do AVIRIS, apenas as 64 bandas posicionadas no intervalo 500-1100 nm foram consideradas para análise. Neste intervalo, está distribuída a maior parte das bandas do VM e IVP dos sensores multiespectrais normalmente utilizados para cálculo do NDVI, ou de outros índices de vegetação convencionais.

Análise por componentes principais foi aplicada sobre esse subconjunto de 64 bandas, com o objetivo de caracterizar as variações espectrais presentes na cena. Para as componentes responsáveis pela maior parte da variância dos dados, foram identificados *pixels* com níveis de cinza totalmente distintos, extraindo-se os espectros de reflectância correspondentes. Em associação com a análise dos autovetores, esses espectros constituíram a base para o estudo da influência do posicionamento de bandas sobre o cálculo do NDVI. A partir dessas curvas de reflectância, foram calculados valores médios de reflectância para os intervalos espectrais nominais de diferentes sistemas sensores (**Tabela 1**), analisando-se o efeito de seu uso na determinação daquele índice. Optou-se pela não utilização da função de resposta dos detetores no processo de simulação por ela não estar disponível para todos os sensores.

3 Resultados e Discussão

A **Figura 2** mostra os fatores de peso para os três primeiros autovetores (E_1 , E_2 , e E_3) obtidos da análise por componentes principais de 64 bandas AVIRIS posicionadas no intervalo 500-1100 nm. Conforme observado, E_1 (90% da variância dos dados) é um indicador da variação de albedo (reflectância total) da cena. A curva de E_2 (5% da variância) é similar ao espectro de vegetação verde invertido, enquanto a curva de E_3 (3% da variância) expressa variações sutis de declividade do *plateau* do infravermelho próximo dos espectros de vegetação, conforme indicado pela inversão dos fatores de peso de valores negativos em 760 nm para positivos em 1100 nm.

De interesse para a presente investigação sobre posicionamento de bandas e NDVI são as imagens CP2 e CP3 mostradas na **Figura 3**. De acordo com as **Figuras 2 e 3a**, CP2 é similar a uma imagem NDVI invertida, em que em geral *pixels* escuros representam vegetação verde (alto valor de NDVI) e *pixels* claros expressam vegetação seca (não-fotossinteticamente ativa) ou outros tipos de alvos com baixos valores de NDVI (p.ex., solos). Por outro lado, na imagem CP3 da **Figura 3b**, a vegetação verde, que é normalmente expressa por *pixels* escuros, apresenta espectros cujo *plateau* do infravermelho próximo é mais horizontalizado, ou menos inclinado, do que o observado nos espectros da vegetação não-fotossinteticamente ativa. Em outras palavras, na imagem CP3 os *pixels* escuros relacionados com o predomínio de vegetação verde, que compreendem as áreas de tonalidades avermelhadas na composição colorida da **Figura 1**, indicam alvos menos susceptíveis ao posicionamento de bandas para efeito de determinação do NDVI.

Os espectros de *pixels* representativos das variações espectrais descritas para CP2 e CP3 foram utilizados na obtenção da **Figura 4**. Essa figura mostra a variação de NDVI em função do posicionamento das bandas do VM e IVP dos sensores listados na **Tabela 1**. Os alvos A-D, cujos espectros foram usados para obtenção deste gráfico, estão indicados nas **Figuras 1 e 3**. A grosso modo, eles representam uma transição de vegetação verde (alvo A- mata ciliar) para vegetação não-fotossinteticamente ativa (alvo B- campo sujo) com feições espectrais típicas de lignina e celulose em torno de 2100 e 2300 nm bem definidas. Observe na **Figura 4** que a influência do

posicionamento das bandas sobre a determinação do NDVI é menor para vegetação verde (alvo A), mas se torna significativamente mais forte na direção do alvo B. Por outro lado, o uso de sensores com bandas do IVP centradas em maiores comprimentos de onda, ou com bandas do VM e IVP muito largas que ultrapassam os limites da borda vermelho (*red edge* entre 690-750 nm), a exemplo do MSS e AVHRR, reduz o contraste espectral entre os alvos. Em outras palavras, ao contrário dos demais sensores, AVHRR e MSS apresentam os valores mais baixos de NDVI para a vegetação verde (alvo A) e os valores mais altos deste índice para a vegetação não-fotossinteticamente ativa (alvo B).

4 Conclusões

Os resultados deste estudo mostram que os efeitos do posicionamento das bandas do VM e IVP sobre a determinação do NDVI nos cerrados brasileiros são significativamente mais fortes da vegetação verde para a vegetação não-fotossinteticamente ativa e, por inferência, da estação chuvosa para a seca. Isto ocorre principalmente devido ao fato da vegetação verde apresentar espectros com *plateau* do IVP mais horizontalizado do que o mostrado pelos espectros de vegetação seca, ou devido a maior inclinação do segmento vermelho-infravermelho nas curvas de reflectância da vegetação não-fotossinteticamente ativa, conforme indicado na **Figura 5**.

O uso de sensores com a banda do IVP centrada em maiores comprimentos de onda, ou com as bandas do VM ou do IVP que ultrapassam o domínio espectral da borda vermelha (*red edge* entre 690-750 nm), reduz o contraste espectral entre a vegetação verde e a não-fotossinteticamente ativa.

Consequentemente, do ponto de vista de posicionamento de bandas, sensores como o MSS e AVHRR são menos adequados que os demais para o monitoramento inter-anual da vegetação, especialmente em áreas de forte sazonalidade de chuvas. De acordo com Galvão e Vitorello (1998), melhores linhas de solo são também obtidas quando a banda do IVP está posicionada em menores comprimentos de onda, a exemplo do que ocorre com sensores como o TM e o SPOT em relação a outros como o MSS e AVHRR.

Os autores agradecem a Robert O. Green pelo fornecimento dos algoritmos para a correção atmosférica das imagens AVIRIS,, a Yosio E. Shimabukuro e Moacir Godoy Jr. pelo auxílio no uso destes algoritmos, e a João Roberto dos Santos pelas discussões relativas ao ambiente do cerrado. O suporte financeiro para as atividades de campo foi dado pela Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP- 96/8282-8).

Referências

- Baret, F., and Guyot, G. Potential and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, **35**:161-173, 1991.
- Elvidge, C.D., and Lyon, R.J.P. Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass. *Remote Sensing of Environment*, **17**:265-279, 1985.

- Epiphanyo, J.C.N.; Huete, A.R. Dependence of NDVI and SAVI on sun-sensor geometry and its effect on fAPAR relationships in alfalfa. *Remote Sensing of Environment*, **51**:351-360, 1995.
- Galvão, L.S., and Vitorello, I. Variability of laboratory measured soil lines of soils from southeastern Brazil. *Remote Sensing of Environment*, **63**:166-181, 1998.
- Green, R.O. Retrieval of reflectance from AVIRIS-measured radiance using a radiative transfer code. In: Airborne/Visible Imaging Spectrometer (AVIRIS) Workshop, 3., Pasadena, CA. *Proceedings*, JPL Publication 91-28, 1991, pp. 200-210.
- Green, R.O. Determination of the in-flight spectral calibration of AVIRIS using atmospheric absorption features. In: Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, 5., Pasadena, CA, *Abstracts*, JPL Publication 95-1, v. 1, 1995, pp. 71-74.
- Green, R.O., Conel, J.D., Roberts, D.A. Estimation of aerosol optical depth pressure elevation, water vapor, and calculation of apparent surface reflectance from radiance measured by the airborne visible/infrared imaging spectrometer (AVIRIS) using a radiative transfer code. In: International Society for Optical Engineering. *Proceedings*, SPIE, v. 1937, Orlando, Florida, 1993, pp. 2-11.
- Holben, B.N., Tucker, C.J., and Fan, C.J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **46**:651-656, 1980.
- Kaufmann, Y., and Tanré, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **30**:261-270, 1992.
- Price, J.C. Calibration of satellite radiometers and the comparison of vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, **21**:15-27, 1987.
- Teillet, M., Staenz, K., and Williams, D.J. Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sensing of Environment*, **61**:139-149, 1997.
- Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, **8**:127-150, 1979.

Tabela 1 – Posicionamento das bandas do vermelho (VM) e do infravermelho próximo (IVP) de alguns sensores multiespectrais.

SENSOR	VM (nm)			IVP (nm)		
	Intervalo	Largura	Centro	Intervalo	Largura	Centro
LANDSAT 5-MSS	600-700	100	650	800-1100	300	950
NOAA 11-AVHRR	580-680	100	630	725-1100	375	912
LANDSAT 5-TM	630-690	60	660	769-900	140	830
SPOT 3-HRV	610-680	70	645	790-890	100	840
JERS 1-OPS	630-690	60	660	760-860	100	810
MODIS-EOS	620-670	50	645	841-876	35	858

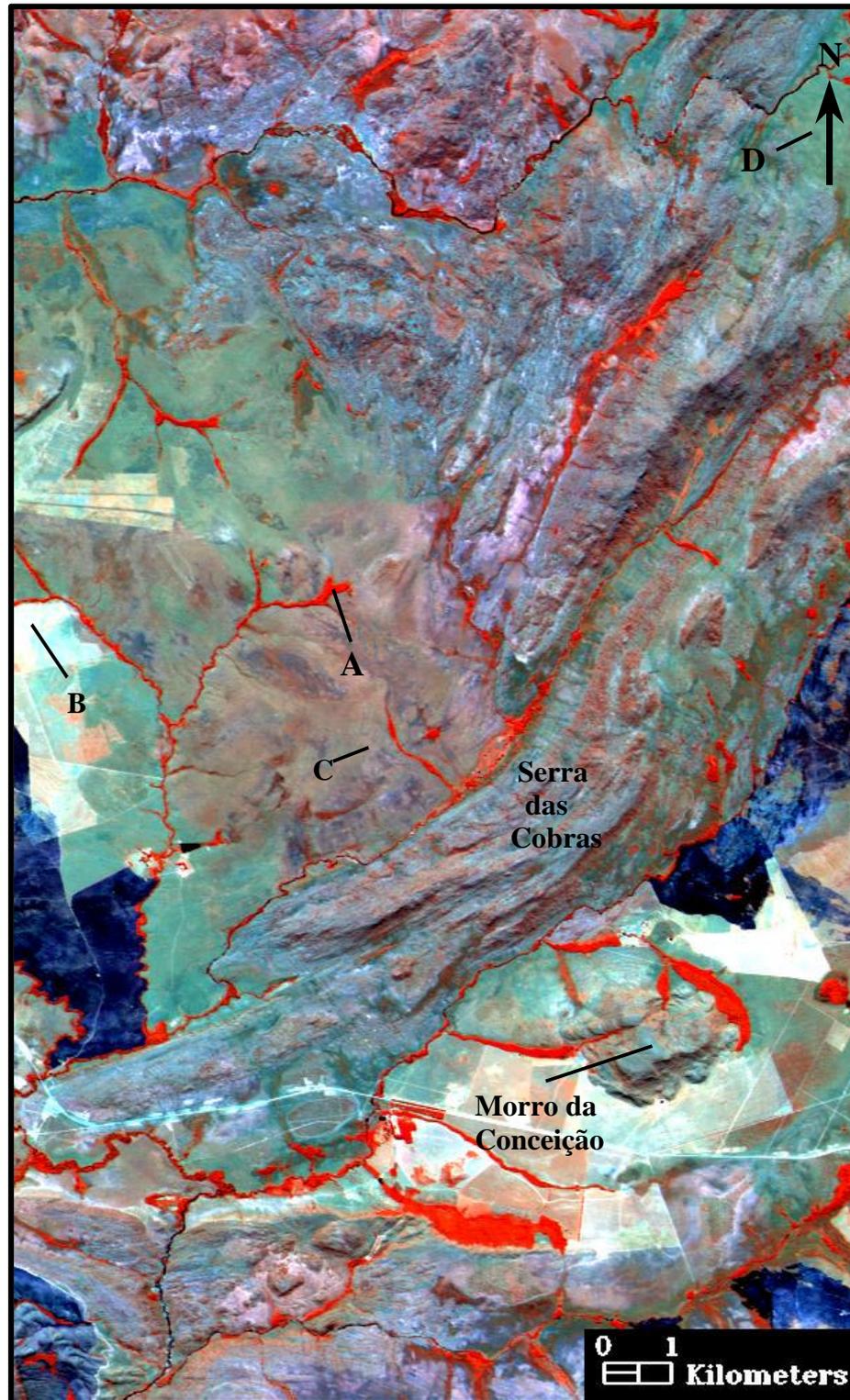


Figura 1 - Composição colorida da área de estudo, composta pelas bandas 51 (836 nm), 137 (1651 nm) e 193 (2201 nm) do sensor AVIRIS, respectivamente, em vermelho, verde e azul. As letras A-D indicam os locais onde foram extraídos os espectros utilizados para os cálculos da Figura 4.

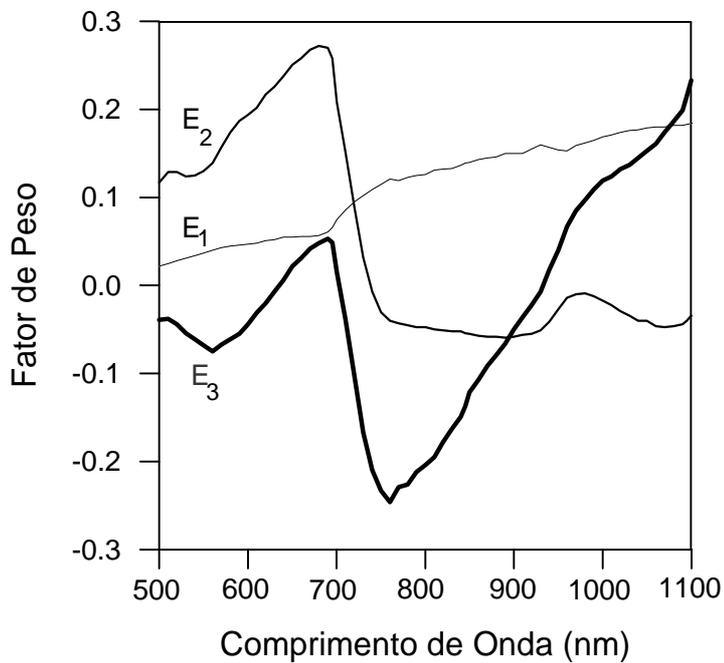


Figura 2 - Primeiros três autovetores resultantes da aplicação de análise por componentes principais sobre 64 bandas do sensor AVIRIS posicionadas no intervalo 500-1100 nm.

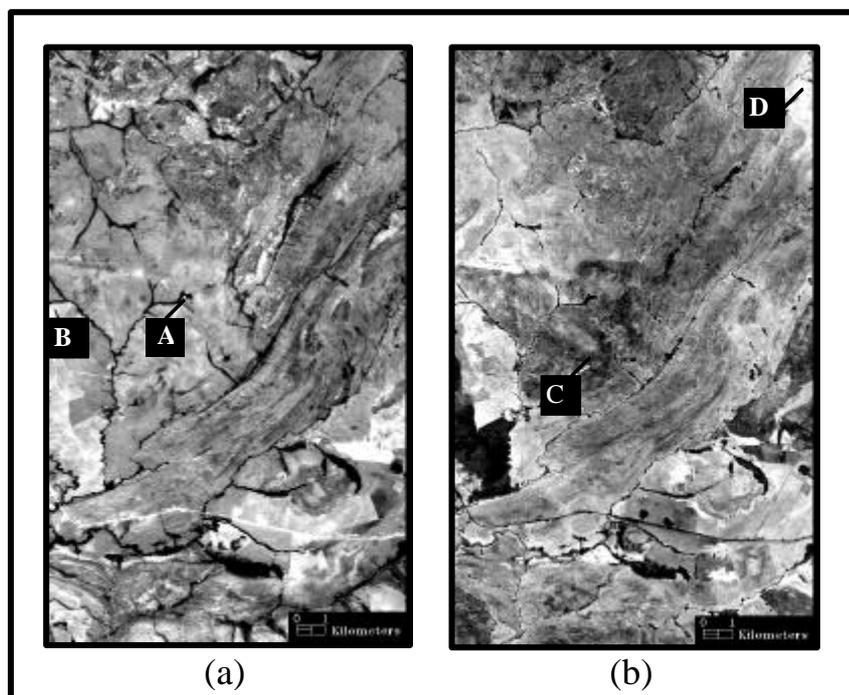


Figura 3 – Imagens das componentes principais CP2 (a) e CP3 (b), obtidas a partir de 64 bandas do sensor AVIRIS posicionadas no intervalo 500-1100 nm. As letras A-D indicam os locais onde foram extraídos os espectros utilizados para os cálculos da Figura 4.

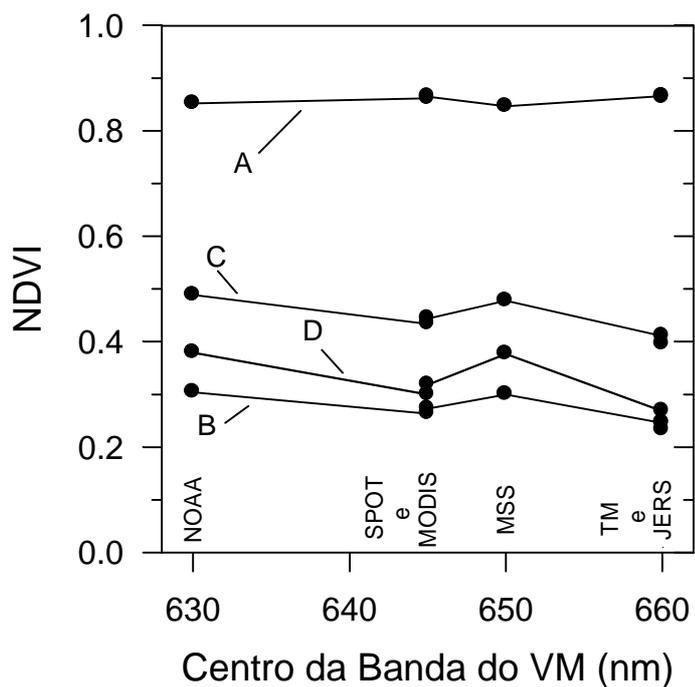


Figura 4 - Variação dos valores de NDVI, obtidos a partir de espectros de reflectância AVIRIS, em função do posicionamento das bandas do vermelho (VM) e infravermelho próximo (IVP) dos sensores listados na Tabela 1. Os locais na imagem onde foram extraídos os espectros A-D estão indicados na Figura 1.

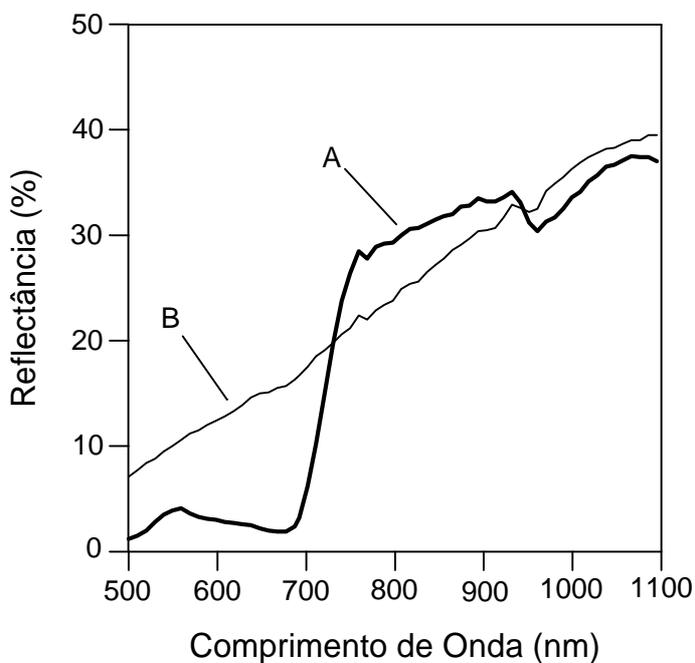


Figura 5 – Espectros de reflectância AVIRIS da vegetação verde (alvo A da Fig. 3) e da não-fotossinteticamente ativa (alvo B), que apresentam valores extremos de NDVI na Figura 4.