

## Correlação Entre Algumas Fisionomias de Cerrado, no Vale do Paraíba, e Classes de Índices de Vegetação Obtidos Espectralmente

MARCELO HIROMITI MATSUMOTO<sup>1</sup>  
MARISA DANTAS BITTENCOURT<sup>2</sup>

Universidade de São Paulo – USP  
Rua do Matão, trav. 14, 321 – Cid. Universitária – CEP 05508-900  
LEPaC – Laboratório de Ecologia da Paisagem e Conservação  
Depto Ecologia – Inst. Biociências, São Paulo – SP, Brasil  
<sup>1</sup>mhatsu@ib.usp.br, <sup>2</sup>tencourt@ib.usp.br

**Abstract :** The necessity of mapping the cerrado's physiognomies in the Paraíba do Sul valley led the authors to calibrate the available vegetation indices in relation to field evidences of campo-cerrado, pasture, and forest. The study area is located in a portion of the cerrado domain strongly impacted by human activities. The physiognomies were identified in the field with botanic specimens collected. After the cerrado physiognomy were confirmed a satellite image were geocoded and processed to obtain 19 vegetation indices available at IDRISI for Windows. Afterwards each vegetation index of each physiognomy were extracted and statistically analysed in order to find out which one performed better the distinction of each physiognomy. The result were PVII with the best performance, followed by NDVI and SAVI.

**Keywords:** remote sensing, satellite, vegetation indices, cerrado, Vale do Paraíba-SP.

### Introdução

O cerrado é um bioma característica do Planalto Central Brasileiro, embora se estenda por outros Estados (Eiten, 1994). No Estado de São Paulo verifica-se a ocorrência deste tipo de vegetação ao longo do Cuesta Basáltica até o norte do Estado do Paraná. Há registros de ocorrência de cerrado na região do Vale do Paraíba, situado na porção leste do Estado de São Paulo como mostra a Figura 1. As manchas encontradas nesta região hoje se concentram basicamente próximas a planície do vale do rio Paraíba do Sul e encontram-se severamente impactadas pela atividade humana. A classificação utilizada é a de Coutinho (1978), ou seja: campo sujo, campo cerrado, cerrado *strictu senso*, cerradão sendo freqüente encontrar floresta estacional semi-decídua associada às fisionomias de cerrado, já que o vale está ilhado pelo domínio da referida floresta segundo a classificação do Radambrasil (1981).

A cobertura vegetal no Vale do Paraíba sofreu grandes transformações ao longo da história do Brasil, dificultando a tarefa de identificação dos fragmentos de cerrado existente na região. Por essa razão, o Inventário Florestal realizado pelo Instituto Florestal (IF) em 1993 (São Paulo, 1997) somente consta os fragmentos de cerrado da bacia sedimentar do Rio Paraná.

A literatura brasileira já apresenta algumas experiências do uso de Sensoriamento Remoto orbital para classificar manchas de cerrado (Bitencourt-Pereira, 1986; Santos, 1988; Bitencourt *et al.*, 1997; Mesquita Jr., 1998). Dentre as várias técnicas existentes para interpretar, de modo quantitativo, as informações da cobertura vegetal encontram-se os índices de vegetação. Tais

índices são capazes de estimar a densidade de folhas verdes por área (Tucker, 1979) o que se aplica perfeitamente aos cerrados, que são formados por um gradiente de fisionomias que variam desde as formas campestres até as formas florestais, dependendo das condições ecológicas do ambiente (Coutinho, 1978).

O objetivo deste trabalho foi aplicar os diversos tipos de índices de vegetação disponíveis na literatura e verificar qual deles melhor distingue algumas fisionomias de cerrado encontradas na região do Vale do Paraíba do Sul, próximo a São José dos Campos, em relação a verdade de campo.

## **Fundamentação**

Os índices de vegetação são modelos numéricos, lineares ou não, que guardam uma relação direta e satisfatória com a fitomassa foliar verde (Tucker, 1979; Gamon *et al.*, 1995). As imagens de índices de vegetação são derivadas a partir das respostas espectrais oriundas da superfície terrestre, e a reflectância da cobertura vegetal depende das propriedades estruturais e ópticas da vegetação e do solo (Myneni *et al.*, 1995). Segundo Gates *et al.* (1965) a reflectância na faixa do vermelho (600-700 nm) reduz com o aumento do índice de área foliar, enquanto que na faixa do infravermelho próximo (700-1100 nm) é verificado que a reflectância é diretamente proporcional ao aumento do índice de área foliar.

Thiam e Eastman (1997) revisaram os índices de vegetação constantes da literatura e detectaram 19 índices compreendido em dois grupos. Um deles é baseado no contraste entre a resposta espectral padrão de vegetação, nas faixas do vermelho e infravermelho próximo, e o outro é baseado na distância entre a linha de vegetação e a linha do solo. Há também um terceiro grupo, baseado na transformação ortogonal de imagens multiespectrais, que não será tratado neste trabalho, cujo nível é Iniciação a Pesquisa.

O primeiro grupo de índices de vegetação data de 1974 e são: RATIO (razão) e o NDVI (normalized difference vegetation index), ambos com a proposta de reduzir os efeitos multiplicativos da assinatura espectral nas duas faixas espectrais acima mencionadas. O NDVI é o índice mais usado até hoje, reduz o efeito topográfico, e apresenta uma escala de medida linear entre -1 e 1, sendo que o valor zero se refere aos pixels não vegetados. No ano seguinte outro índice é apresentado ao meio científico, resultado da primeira variação do NDVI, que é o TVI (transformed vegetation index) que visava eliminar os valores negativos do NDVI. Em 1984 é apresentado uma modificação do TVI que é o CTVI (corrected transformed vegetation index) que superestima a vegetação verde sendo mais indicado para regiões com baixa cobertura vegetal. Em 1997 é apresentado um novo índice derivado do TVI foi anunciado, o TTVI (Thiam's transformed vegetation index), também indicado para regiões com baixa cobertura vegetal. Dentre os índices derivados do RATIO, o RVI (ratio vegetatio index), apresentado em 1977, consiste no inverso do RATIO, característico por minimizar os efeitos topográficos, de iluminação e atmosféricos. Em 1991 surge a primeira modificação do RVI que é o NRVI (normalized ratio vegetation index) que se mostrou mais eficiente na redução dos efeitos topográficos, de iluminação e efeitos atmosféricos que o próprio NDVI.

Em 1977, é anunciado o primeiro índice do segundo grupo, o PVI (perpendicular vegetation index) que se propunha a eliminar o efeito do solo exposto nos pixels mistos. Para tanto é

necessário que haja uma fonte de solo exposto do local, para que se alimente o índice. Em 1984 surgiu o PVI1, em 1991 o PVI2 e em 1994 o PVI3, todos com o objetivo de discriminar água de vegetação, que se confunde no índice original. Também em 1977, um outro índice é apresentado a comunidade científica, também visando eliminar o efeito do solo, desta feita através de uma constante associada a assinatura espectral do solo no infravermelho próximo - DVI (difference vegetation index). Em 1978 o índice AVI (Ashburn vegetation index) indicou que bastava multiplicar 2 ao valor espectral do infravermelho próximo que o efeito do solo estaria compensado. Desde índice veio a variação SAVI (soil-adjusted vegetation index) em 1988 que pretendia minimizar o efeito do solo na assinatura espectral da vegetação incorporando um fator de solo ao NDVI. Este fator seria zero se valor SAVI = NDVI e seria 100 se valor SAVI se aproximar do valor PVI. Ray (1996) indica o SAVI como um dos melhores índices para correção da interferência do solo na resposta espectral. Em 1989 esse índice foi modificado para TSAVI1 especialmente para regiões semi-áridas. Em 1991, o mesmo índice foi reajustado para solos com alta reflectância dando origem ao índice TSAVI2. Em 1994 outra modificação para solos com alta reflectância que foi o MSAVI (modified soil-adjusted vegetation index)1 e 2. Em 1996 é apresentado o WDVI (weighted difference vegetation index) com a proposta de dar pesos distintos a cada tipo de solo.

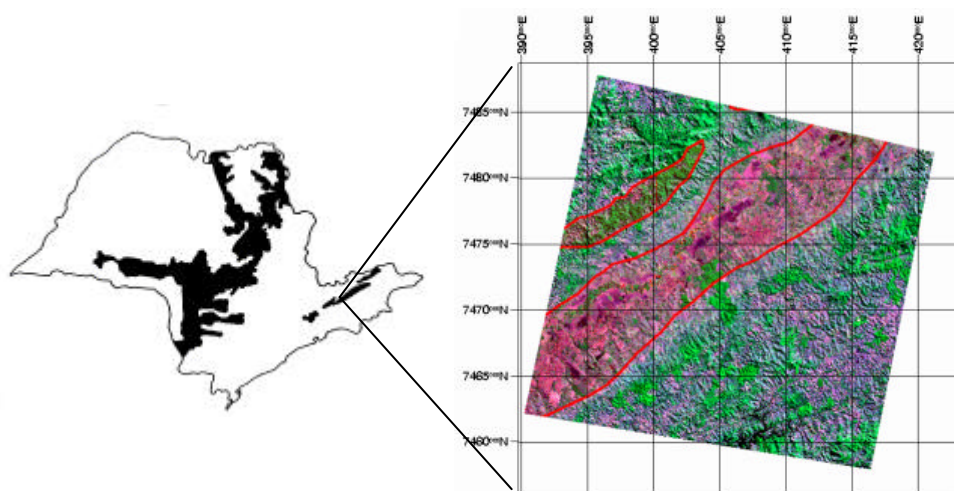
Bannari *et. Al* (1995 *apud* McDonald *et. al*, 1998) concluiu que o NDVI sofreu um influência significativa dos efeitos do solo e da atmosfera, enquanto que para o PVI e SAVI estas interferências foram em menor grau.

Elvidge & Lyon (1985, *apud* Richardson & Everitt, 1992) verificaram que o PVI produzia um bom resultado para locais áridos e semi-áridos, regiões onde a cobertura da vegetação é escassa e os índices de vegetação baseados na razão não são sensíveis.

No Brasil, Bitencourt-Pereira (1986) e Santos (1988) procuraram calibrar a assinatura espectral das fisionomias de cerrado através de índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto orbital. O primeiro autor trabalhou com campo cerrado e o segundo com cerradão, ambos utilizando o TVI. A razão dessa busca se prende ao fato de o cerrado *sensu lato* apresentar um gradiente de fisionomias que varia desde formas campestres a formas florestais, conforme as condições do meio físico e conforme as pressões antrópicas (Coutinho, 1978). Em Bitencourt *et al.* (1997) fez-se um mapa das áreas de probabilidade de ocorrência das fisionomias de cerrado *s.l.* da Gleba Pé-de-Gigante em Santa Rita do Passa Quatro-SP, utilizando os NDVI de dois períodos extremos de seca e chuva. A intenção foi incluir o efeito sazonal causado pela perda de folhas verdes entre os dois períodos. Mesquita Jr. (1998) examinou de que modo o NDVI de cada fisionomia (na área acima) varia ao longo do ano. Concluiu que as fisionomias mais campestres apresentam maior variação do NDVI ao longo do ano do que as formas mais florestais e que a identificação de cada fisionomia fica comprometida caso não se leve em consideração a sazonalidade.

## **Materiais e Métodos**

A área de estudo se encontra no município de São José dos Campos na região do Vale do Paraíba, Estado de São Paulo. Esta área está localizada próxima ao entroncamento das rodovias Tamoios (SP-99) e Carvalho Pinto (SP-70).



**Figura 1 – Localização da área de estudo no Vale do Paraíba, a área com linha em vermelho se refere ao limite do domínio de cerrado na região (Radambrasil, 1981).**

Na área de estudo, a vegetação predominante é a gramínea sendo utilizado como pastagem. No entanto, nas áreas de maior declividade é verificado a ocorrência de diferentes tipos de fisionomias de cerrado

Os tratamentos de imagens foram realizado no Laboratório de Ecologia da Paisagem e Conservação (LEPaC) do Departamento de Ecologia do Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.

Foram utilizadas imagens de satélite do Landsat 5, fornecidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esta imagem data de 04/09/1999 da órbita-ponto 219/76, sendo obtidos as seguintes bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

Assim, utilizando o programa IDRISI for Windows 2.0, foram geradas as imagens da área de estudo, dos seguintes índices de vegetação: RATIO, NDVI, RVI, NRVI, TVI, CTVI, TTVI, PVI, PVI1, PVI2, PVI3, DVI, TSAVI1, TSAVI2, MSAVI1, MSAVI2, WdVI, AVI e SAVI, antes de terem sofrido correções geométricas. Em seguida, selecionou-se as imagens a serem analisadas com detalhe, através dos seus respectivos histogramas.

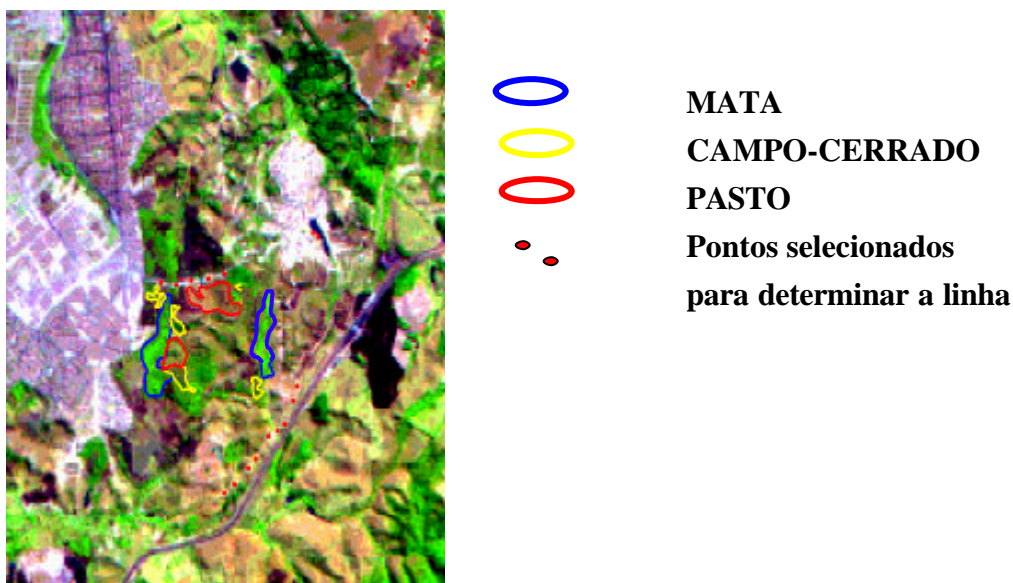
O trabalho de campo foi realizado para coletar material botânico para caracterização da vegetação. Foi montado parcelas de 5 x 20 metros sendo amostrados os indivíduos maiores que 3 cm de DAP, para caracterização do tipo fisionômico foi feito perfis diagrama. Posteriormente o material biológico coletado foi identificado pelo Professor Doutor Waldir Mantovani do Departamento de Ecologia do Instituto de Biociências - USP.

Deste trabalho de campo foi definido então 3 tipos de cobertura vegetal: mata, campo-cerrado e pasto, sendo então delimitado na imagem as manchas correspondendo a cada tipo de cobertura (Figura 2). As manchas de cada classe de vegetação foram extraídas das imagens índice de vegetação. Em seguida, foram extraídos os histogramas para cada tipo de cobertura, de cada tipo de índice, utilizando o programa Statistica 5.0.

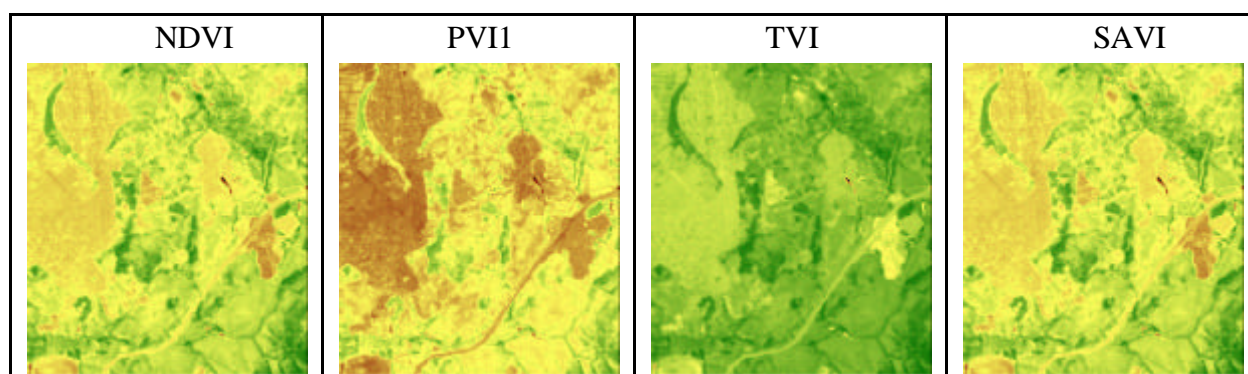
## **Resultados e Discussão**

As áreas selecionadas para cada tipo de vegetação na imagem da composição colorida estão mostradas na Figura 2. Após a geração de todos os índices de vegetação disponíveis no programa

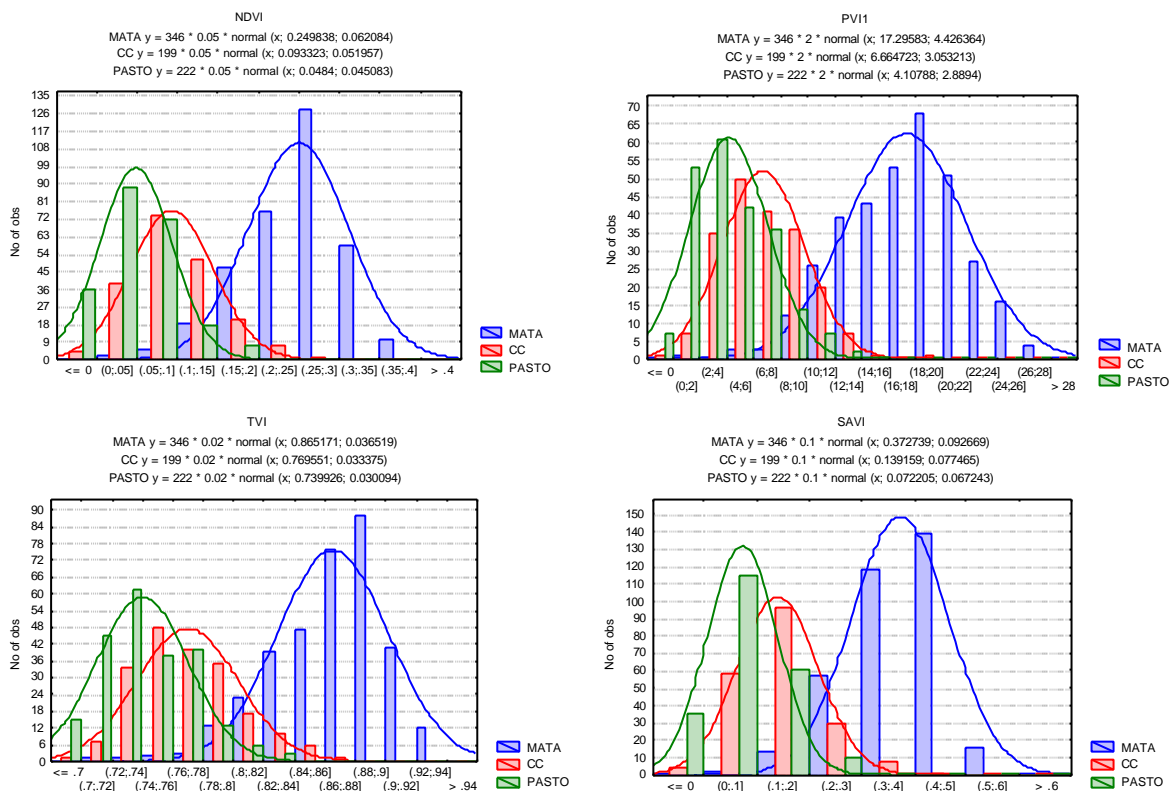
Idrisi foram selecionados 4 imagens índices para uma análise mais detalhada. As imagens são: NDVI, PVI1, TVI e SAVI (Figuras 3 e 4). Baseados na literatura, o NDVI foi escolhido, pelo fato de ser um dos índices mais utilizado, o PVI1 por reduzir o efeito do solo na imagem índice, o TVI por apresentar um contraste e o SAVI que, apesar de levar em conta a linha de solo obtido na região, apresentou praticamente o mesmo contraste do NDVI.



**Figura 2 – Áreas selecionadas para extração dos índices de vegetação para cada tipo de cobertura vegetal estudada.**



**Figura 3 – Imagens índices de vegetação obtidos através do programa IDRISI.**



**Figura 4 – Histograma dos índices de cada amostra das imagens NDVI, PVI1, TVI e SAVI.**

As inclusões de índices para sofrerem análise mais detalhada foram baseadas inicialmente na definição dos próprios índices. Os índices RATIO, RVI e NRVI foram excluídos porque a literatura consagrou tanto o NDVI e como o TVI em seus respectivos lugares. O CTVI e o TTVI apresentaram os mesmos histogramas que o TVI. O DVI foi excluído por apresentar baixo contraste nas áreas vegetadas. Os PVI2 e 3 superestimaram as áreas vegetadas. Os DVI e AVI com mesmos histogramas, subestimaram as áreas não vegetadas. As variações do SAVI foram excluídas pois a região não apresenta nem é do semi-árido e nem seu solo possui alta reflectância.

Os 4 índices de vegetação escolhidos mostram que a resposta para o campo e campo-cerrado detém uma área de sobreposição (ou confusão) grande, de maneira que a distinção entre estas duas fisionomias não é muito clara. No entanto, o histograma da mata quase não apresenta sobreposição entre as classes de vegetação.

Na Figura 4 pode ser analisado os histogramas oriundos da extração dos pixels das áreas selecionadas das imagens índices. As áreas selecionadas como mata apresentaram índices superiores aos do pasto e do campo-cerrado, uma vez que tanto a fitomassa como o índice de área foliar é tão mais alto quanto mais densa for a cobertura vegetal

De acordo com essa figura os índices dos tipos fisionômicos pasto e campo-cerrado apresentaram resultados semelhantes. O pasto é constituído basicamente pelo estrato herbáceo,

predominando as gramíneas, o mesmo ocorre com o campo-cerrado, embora nessa fisionomia apareça outras espécies no estrato herbáceo, bem como um ralo componente arbustivo-arbóreo.

Na imagem NDVI a média dos valores dos pixels encontrados na área delimitada para a mata foi 0.249838, enquanto que para campo-cerrado e pasto foram 0.093323 e 0.0484, respectivamente. Os desvios padrão encontrados foram: 0.062084, 0.033375 e 0.030094, respectivamente para mata, campo-cerrado e pasto.

A imagem SAVI se mostrou muito semelhante à imagem NDVI, variando apenas em um aumento de amplitude. Por outro lado, o desvio padrão encontrado na imagem TVI foi bem menor em relação aos demais histogramas. A análise do histograma da imagem PVI1 demonstrou desvio padrão inferior para a classe pasto, em comparação com os demais índices. No entanto, o histograma da imagem obtida não apresentou grandes variações, se comparado com os outros índices.

Regiões onde há ocorrência de solo exposto os índices de vegetação que atenuam a interferência do solo na imagem são mais eficientes. Entretanto, nas florestas, onde a cobertura vegetal é densa, estes índices não deveriam ser utilizados, já que basicamente o efeito de fundo na imagem é propiciado pelas próprias plantas e a cobertura morta (McDonald *et al.*, 1998). De fato, no histograma do PVI1 foi encontrado menor desvio padrão para a classe pasto em comparação com as demais imagens. Este resultado deve estar relacionado com a redução do efeito do solo neste tipo de índice, uma vez que a cobertura vegetal do campo-cerrado apresenta outro estrato, o arbustivo-arbóreo, influenciando na resposta espectral.

Concluindo, embora o NDVI seja um dos índices mais utilizados para detectar as diferentes fitofisionomias de cerrado, o índice que apresentou melhor desempenho foi o PVI1. Contudo, apesar de atenuar o efeito do solo, o discernimento entre pasto e campo-cerrado ainda não é possível mesmo na imagem PVI1. O SAVI apresentou o mesmo desempenho que o NDVI e o TVI, apesar de esse último ter apresentado menor desvio padrão. É importante lembrar que esses índices foram desenvolvidos para solos de clima temperado e que os solos onde os cerrados costumam ocorrer são do tipo latossolos, ricos em alumínio e pobres em ferro, dos quais se pode esperar apenas uma reflectância média.

### **Agradecimentos**

Ao Dr. Dalton Valeriano do INPE pelo apoio, ao Mestre Sidney Tadeu Rodrigues pelas discussões e sugestões, ao Professor Dr. Waldir Mantovani pela identificação do material botânico coletado, e a FAPESP pelo financiamento do projeto mãe (processo # 98/05251-0) ao qual este trabalho esteve subordinado.

### **Bibliografia**

- Bitencourt, M.D.; Mesquita Jr, H.N.; Mantovani, W.; Batalha, M.A.; Pivelo, V.R. Identificação de fisionomias de Cerrado com imagem índice de vegetação. *In*: Laércio Leonel Leite e Carlos Hiroo Saito. **Contribuição ao conhecimento ecológico do Cerrado** – Capítulo 7 - Brasília, Depto. Ecologia – UnB. 1997.
- Bitencourt-Pereira, M.D. Correlação de fitomassa foliar de Campo Cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS-LANDSAT e por radiometria de campo. Dissertação de Mestrado, 90 p., 1986. (INPE-3758-TDL-205).

- Coutinho, L.M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica** 1(1):17-23. 1978.
- Eiten, G. A vegetação do Cerrado. In: Pinto, M. N. (org). **Cerrado – Caracterização, ocupação e perspectivas**. Brasília: Ed. Univ. Brasília.1994.
- Gamon, J.A.; Field, C.B.; Goulden, M.L.; Griffin, K.L.; Hartley, A.E.; Joel, G.; Peñuelas, J.; Valentini, R. Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. **Ecological Applications**, 5(1):28-41.1995
- Gates, D.M.; Feegan, H.J.; Schleter, J.C.; Weidner, V.R. Spectral properties of plants. **Applied optics**, 4(1):11-20. Optical Society of America, New York, 1965.
- McDonald, A J.; Gemmell, F.M.; Lewis, P. E. Investigation of the utility of spectral vegetation indices for determining information on coniferous forests. **Remote Sens. Environ**, 66:250-272. 1998.
- Mesquita Jr, H.N. Análise temporal com sensor orbital de unidades fisionômicas de cerrado na Gleba Pé-de-Gigante (Parque Estadual de Vassununga – SP). Dissertação mestrado IB-USP. São Paulo. 1998.
- Mynemi, R.B., Hall, F.G., Sellers, P.J. & Marshak, A.L. The interpretation of spectral vegetation indexes. **IEEE Transactions on geoscience and remote sensing**, 33:2:481-486. 1995.
- Radam. Projeto RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia, Secretaria Geral. Rio de Janeiro, v. 32, Folha SF 23/24. 1981.
- Ray, T. W. Vegetation in Remote Sensing FAQs. In: Manual do ErMapper 5.0 - Applications. 1998.
- Richardson A.J. & Everitt, J.H. Using spectral vegetation indices to estimate rangeland productivity. *Geocarto International* 1:1:63-69. 1992.
- Santos, J.R. Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor “Thematic Mapper” do satélite LANDSAT. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba 208p. 1988.
- São Paulo. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Cerrado: bases para conservação e uso sustentável das áreas de cerrado do estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo.1997.
- Thiam A.; Eastman, J.R. Vegetation Indices. **In:** Manual do IDRISI for Windows 2.0.
- Tucker, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**. 8:127-150. 1997.