

VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota

Sexta Reunion Nacional
SELPER-Mexico

Latinoamérica Evaluada desde el Espacio
Puerto Vallarta, México

Memorias

Noviembre, 1995

ANÁLISE FISIONÔMICA DA VEGETAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO, EM NÍVEL GLOBAL E REGIONAL, ATRAVÉS DE IMAGENS AVHRR.

Vitor Celso de Carvalho
Yosio Edemir Shimabukuro
David Chung Liang Lee
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
Divisão de Sensoriamento Remoto
Caixa Postal 515, CEP 12201-970
São José dos Campos, São Paulo, Brasil
E-mail: yosio@ltd.inpe.br

RESUMO

O monitoramento contínuo da cobertura vegetal passa necessariamente por uma etapa de classificação e outra de mapeamento. As imagens do "Advanced Very High Resolution Radiometer" (AVHRR) a bordo do satélite ambiental "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA) vêm sendo apontadas como uma ferramenta fundamental para o monitoramento na escala global ou regional, embora sua utilização operacional ainda é limitada. Neste trabalho avaliou-se o potencial dessas imagens na discriminação de aspectos fisionômicos (*sensus strictu*) e funcionais (periodicidade) da vegetação no Estado de São Paulo. Foram utilizadas as imagens transformadas "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI) mensais derivadas das imagens "Global Area Coverage" (GAC) e reamostradas para uma resolução de 8 km pelo "Global Inventory Monitoring and Modeling Studies" (GIMMS) da "National Aeronautic and Space Administration" (NASA) referentes ao ano de 1990. Adicionalmente foram utilizadas imagens obtidas diariamente no período de 22 a 25 de junho de 1993 nas bandas 1 e 2 obtidas pelo INPE na resolução total de 1,1 km ("High Resolution Picture Transmission" - HRPT). Como base de referência geocodificada foram utilizados mapas do Inventário Florestal do Estado de São Paulo (IF, 1993) e da Divisão Administrativa e Judiciária do Estado de São Paulo (IGG, 1974). Sobre as imagens NDVI mensais foi analisada a dinâmica sazonal para separação das seguintes classes de formações: floresta, complexos, campos e deserta. Sobre as imagens AVHRR adquiridas diariamente avaliou-se a possibilidade de um mapeamento. Os resultados obtidos permitiram confirmar o potencial do uso das imagens AVHRR para a classificação e o mapeamento em nível regional e global, como parte de um sistema para monitoramento multiestágio da vegetação.

1. INTRODUÇÃO

A informação precisa e repetitiva da distribuição das plantas na superfície da Terra é um requisito fundamental para a compreensão de diversos fenômenos dinâmicos globais. Nos últimos anos esforços foram desenvolvidos para demonstrar que alterações nesta cobertura vegetal podem afetar fenômenos tão diversos como a concentração de CO₂ na atmosfera, a produtividade biológica primária, o ciclo hidrológico e o balanço de energia na interface superfície-atmosfera. O controle dessa informação, apesar de sua inegável importância, ainda permanece num estágio exploratório em nível global e regional.

Desde o final da década de 70 tem sido possível obter uma cobertura completa e diária, com imagens orbitais, de toda a superfície da terra. Essas imagens são adquiridas por sistemas sensores colocados a bordo de satélites ambientais, voltados originalmente para interesses meteorológicos. Dentre esses sistemas pode-se destacar o sensor "Advanced Very High Resolution Radiometer" (AVHRR), colocado a bordo do satélite ambiental da "National Oceanic and Atmospheric Administration" (NOAA).

As imagens AVHRR são consideradas como essenciais para fornecer uma medida realística da cobertura vegetal global atual do planeta (Townshend et al., 1991). Isto decorre da interessante combinação oferecida por essas imagens em termos de resolução espectral (atualmente com 6 bandas espectrais), espacial (um pixel no nadir cobre uma área de 1,1 km²) e temporal (podem ser obtidas até 4 coberturas completas por dia com o uso de dois satélites e passagens noturnas).

A metodologia para a melhor utilização desses dados na classificação e mapeamento da vegetação, visando o monitoramento contínuo da cobertura vegetal da Terra, vem sendo alvo de intensas pesquisas e desenvolvimento, mas ainda permanece em aberto (Lloyd, 1990). Dentre os aspectos que necessitam de maiores estudos e testes em condições variadas e bem controladas, destacam-se a fisionomia da vegetação, o comportamento fenológico relacionado à queda das folhas e a componente arquitetural relacionada a forma dominante da folha. Estas variáveis constituem parâmetros básicos para estudos mais aprofundados e especializados.

Integrando-se a este esforço de pesquisa, procurou-se neste trabalho avaliar o potencial das imagens AVHRR para a discriminação de aspectos fisionômicos (*sensus strictu*) e funcionais (periodicidade) da cobertura vegetal da Terra, tomando como área de estudo o Estado de São Paulo.

2. REVISÃO

As imagens do AVHRR permitem uma cobertura sinótica do planeta (cada imagem cobre uma faixa de 2.700 km de largura), num curto período de tempo, a um custo relativamente baixo comparado com outros sistemas similares, como o Landsat. Mostram-se assim, especialmente úteis para o mapeamento de fenômenos que mudam muito rapidamente sobre uma grande área (Roller e Colwell, 1986).

O potencial do uso desses produtos, para a identificação de tipos fisionômicos ou classes de formações vegetais, pode ser percebido nos trabalhos de Myers (1983), Justice et al. (1985), Tucker et al. (1985), e Achard e Blasco (1990). Porém, o uso desta ferramenta de forma operacional, produzindo resultados precisos e obtidos de forma eficiente, encontra-se ainda em desenvolvimento, conforme evidenciaram Running et al. (1994).

Essa dificuldade decorre em grande parte, conforme mencionado por diversos autores entre os quais Lloyd (1989), porque diferentes tipos de cobertura vegetal podem ocupar uma mesma área unitária do sensor AVHRR, produzindo uma grande quantidade de pixels contendo informações misturadas. Como também, porque essas classes podem apresentar comportamentos semelhantes no espaço de feições multi-dimensional e multi-temporal desses dados. Além disso, deve-se mencionar também o ângulo de visada e as condições atmosféricas (Achard e Blasco, 1990), como fatores bastante limitantes ao uso das imagens AVHRR para estudos da vegetação.

Os dados AVHRR são especialmente úteis para o monitoramento de variações intra- e inter-anual da cobertura vegetal (Justice et al., 1985). Para isto, toma-se como base, a forte e quase linear relação que existe entre os índices de vegetação (obtidos pela combinação de respostas espectrais em comprimentos de onda do visível e do infravermelho próximo) e a quantidade de irradiância solar absorvida pelos pigmentos das folhas (função da quantidade de clorofila — visível e da densidade de folhas verdes — infravermelho próximo).

Por exemplo, o comportamento fenológico já era apontado por Morain (1974) e Vinogradov (1977) como um poderoso recurso para a identificação da vegetação por sensoriamento remoto. Os primeiros estudos práticos neste sentido, com o uso dos dados AVHRR, ocorreram no início da década de 80 por intermédio dos trabalhos de Townshend e Tucker (1981) e Norwine e Gregor (1983). Após estes estudos pioneiros, muitos outros foram realizados podendo-se destacar, os de Perry e Lautenschlager (1984), Malingreau (1986), Townshend et al. (1986), Justice et al. (1989, 1991), Lacaze (1989) e Lloyd (1990).

De acordo com Running et al. (1994), a longevidade e a forma da folha também podem ser interpretadas usando apenas dados de sensoriamento remoto. Resultados obtidos com imagens Landsat, mostram-se bastante animadores neste sentido. No entanto, cabe aqui destacar que, para as condições tropicais, com cobertura de nuvens freqüente, a disponibilidade de imagens livres de nuvens é muito limitada.

Por exemplo, Hardisky et al. (1986), considerando as características gerais de reflectância de coberturas vegetais heterogêneas, puderam identificar três distintas arquiteturas de dosséis de acordo com a forma da folha: latifoliada ("broadleaf" — muitas superfícies foliares reflectivas no plano horizontal), estritofoliada ("gramineous" — uma distribuição mais aleatória de superfícies reflectivas entre os planos horizontal e vertical) e afilofoliada ("leafless" — muitas superfícies reflectivas no plano vertical).

Dificuldades para a observação desses parâmetros vegetais foram, no entanto, observadas por Running et al. (1994). Apesar das dificuldades, esses autores desenvolveram um procedimento lógico para obter bons resultados com dados AVHRR. Reconheceram, todavia, que novos estudos são necessários. Esta observação também é particularmente válida para o segundo nível de discriminação, ou seja, a separação entre vegetação decídua e perenifólia (Loveland et al., 1991).

Os dados multitemporais abrem novas possibilidades na conceituação da periodicidade da cobertura vegetal total e são relevantes para o estudo da dinâmica da vegetação. Por exemplo, Tucker et al. (1985) já mostravam que através das imagens AVHRR pode-se observar variações sazonais em florestas úmidas tropicais africanas.

Neste sentido, os dados de sensoriamento remoto também podem ser utilizados para medir ou estimar outros aspectos da vegetação relacionados com a eficiência dos processos fotossintéticos, como por exemplo: produção primária, índice de área foliar, variações de matéria seca e razão de assimilação bruta. A operacionalização da estimativa destas medidas pode ser importante para melhorar os procedimentos de classificação da vegetação.

3. METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo.

Foi escolhida como área de estudo o Estado de São Paulo (Figura 1) por apresentar uma série de condições favoráveis. Primeiro, por se dispor de dados AVHRR processados e corrigidos abrangendo toda a área do estado e segundo, devido a disponibilidade de dados mais recentes e abrangentes quanto ao mapeamento e quantificação da cobertura vegetal natural e reflorestamento (IF, 1993). No trabalho citado, foram identificadas as categorias de cobertura vegetal natural de acordo com os tipos fisionômicos: mata, capoeira, cerrado, campo, campo cerrado, cerradão, vegetação de várzea, vegetação de restinga e vegetação de mangue, bem como o reflorestamento com Pinus, Eucalyptus e outros.

O IF (1993) utilizou como material básico, na tarefa de fotointerpretação, imagens do sensor "Thematic Mapper" do satélite Landsat 5, na escala de 1:50.000, em composição colorida (3, 4 e 5), no período de 1990 a 1992. Foram elaborados 416 mapas temáticos na escala de 1:50.000, consolidados em dois temas, a cobertura vegetal natural e o reflorestamento, e locados em mapa na escala aproximada de 1:2.000.000 para todo o Estado de São Paulo.

A cobertura vegetal natural foi quantificada em 3.330.744 ha, que representa 13,4% da área total do Estado. Essas áreas estão concentradas principalmente no sul da Região Administrativa do Litoral, oeste da Região Administrativa de Sorocaba e norte da Região Administrativa do Vale do Paraíba, que detêm juntas cerca de 60% da área quantificada. Nas demais Regiões Administrativas a cobertura vegetal natural remanescente, caracteriza-se pela ocorrência de distribuição descontínua dentro de índices inexpressivos localizados em terrenos acidentados, de difícil acesso e constituindo unidades de conservação ou áreas de proteção

O levantamento qualitativo e quantitativo do reflorestamento em São Paulo, permitiu chegar a um total de 812.523,32 ha reflorestados, o que representa 3,27% da área total do Estado (IF, 1993). A Região Administrativa de Sorocaba concentra 360.117,17 ha que representam 44,3% de toda a área reflorestada do Estado, dos quais 119.656,50 ha são ocupados por reflorestamentos com Pinus, o que representa 61,4% do total plantado no Estado. Os

demais índices de reflorestamento mais expressivos situam-se nas Regiões Administrativas de Campinas, Ribeirão Preto, Bauru e Vale do Paraíba, respectivamente com 12,9%, 11,7%, 9,1% e 10,1%.

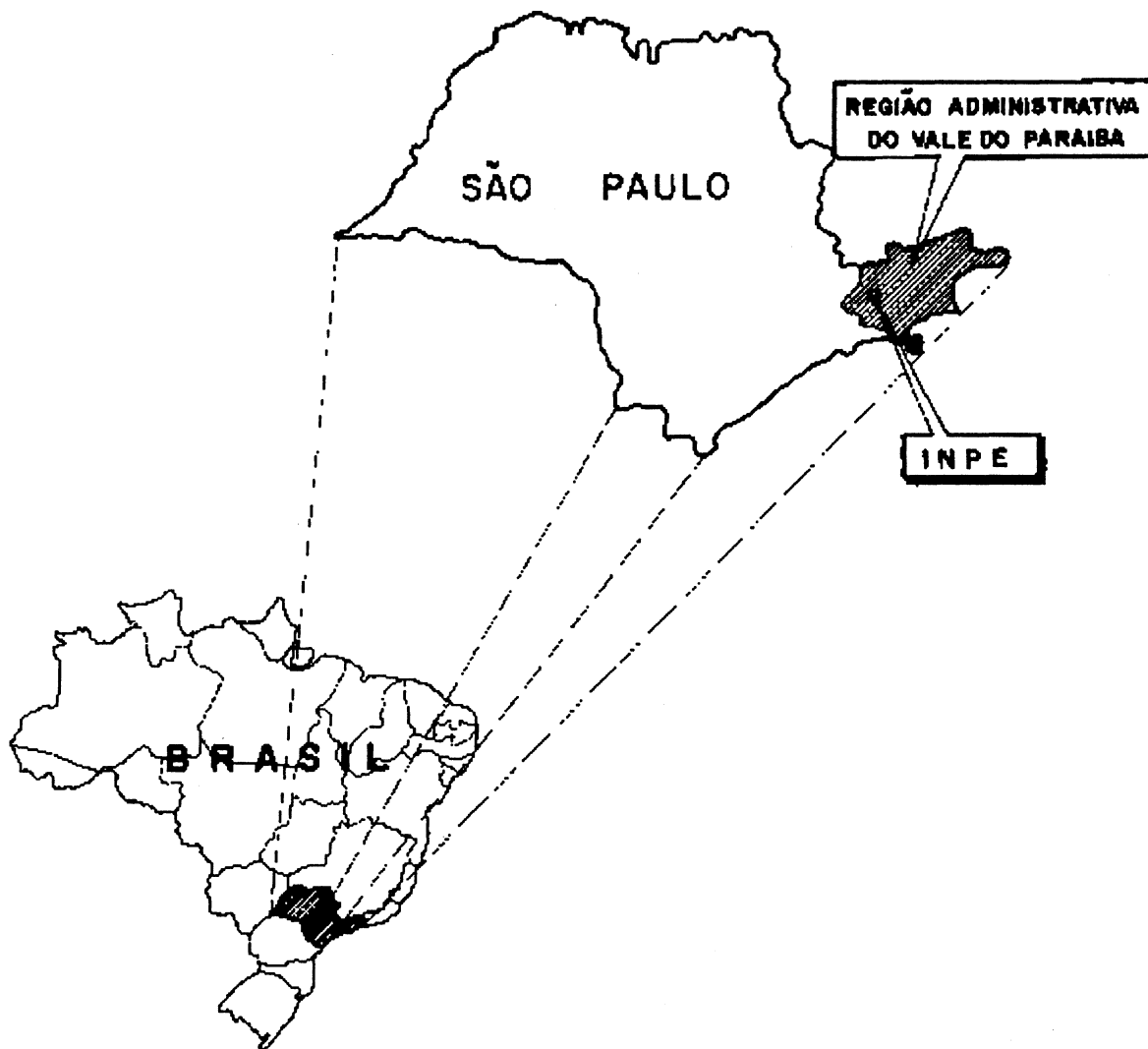


Figura 1. Localização da área de estudo - Estado de São Paulo

A Região Administrativa do Vale do Paraíba foi escolhida para servir como área de referência para uma análise mais detalhada. Esta região se destaca, no contexto do Estado, por possuir uma alta concentração de áreas remanescentes de vegetação natural, sobretudo florestal, e de reflorestamentos. Ela abrange no seu espaço geográfico condições ambientais, sobretudo topográficas, bastante variadas, destacando-se os contrafortes da Serra da Mantiqueira (ao norte) e da Serra do Mar (ao sul), ao centro a área relativamente plana do Vale do Paraíba, o que faz dela uma área interessante como modelo das condições gerais do Estado.

Os limites e divisões regionais administrativas, bem como, a rede de drenagem principal do Estado de São Paulo foram geocodificados através de um Sistema Geográfico de Informações para ajustes cartográficos e melhor localização de amostras de treinamento. Como base de referência geocodificada foi utilizado o Mapa de Divisão

Administrativa e Judiciária do Estado de São Paulo (IGG, 1974). Outros mapas de vegetação ou cobertura vegetal disponíveis em pequenas escala foram também utilizados como base de apoio de informações do campo.

3.2. Imagens AVHRR.

Foram utilizadas as imagens transformadas "Normalized Difference Vegetation Index" (NDVI) mensais derivadas das imagens "Global Area Coverage" (GAC) e reamostradas para uma resolução de 8 km pelo "Global Inventory Monitoring and Modeling Studies" (GIMMS) da "National Aeronautic and Space Administration" (NASA) referentes ao período de janeiro a dezembro de 1990. Adicionalmente foram utilizadas imagens obtidas diariamente no período de 22 a 25 de junho de 1993 nas bandas 1 e 2 obtidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) na resolução total de 1,1 km ("High Resolution Picture Transmission" - HRPT). O emprego destes produtos e teve por objetivo avaliar o potencial do uso de dados de sensoriamento remoto para o mapeamento multiestágio da vegetação ao nível global (NDVI/GAC) e regional (AVHRR/HRPT).

3.3 Análise dos Dados.

As imagens AVHRR mensais e diárias foram ajustadas através de um Sistema Geográfico de Informações a duas bases poligonais na escala original de 1:1.000.000 da rede de drenagem principal e das divisões administrativas do Estado de São Paulo, de modo a facilitar a localização de feições de interesse.

Com base na proposta de Carvalho (1995) pretende-se, no primeiro estágio (abordagem global), estabelecer o comportamento fenológico das classes de formações, como definidas nos sistemas da UNESCO (1973) e do IBGE (1992). A característica fundamental da vegetação que deve-se expressar nas imagens do AVHRR é a morfologia do conjunto ou fisionomia no sentido restrito. Para o Estado de São Paulo pretende-se identificar as categorias: deserta, campo, fruticeta, floresta e complexa.

O procedimento de classificação é dividido em dois subníveis: a) seguindo em parte, a idéia expressa por Running et al. (1994), onde serão identificadas as características funcionais de cada cobertura vegetal, definidas pela fitomassa aérea permanente na superfície do solo discriminando grandes conjuntos de coberturas vegetais marcados pela dominância de plantas dispersas, anuais, perenes e complexos; b) seguindo a orientação da grande maioria dos fitogeógrafos que dividem as coberturas vegetais pelos portes ou formas de vida principais e preponderantes na paisagem vegetal.

A resolução GAC, a grande variação entre as imagens mensais e a pouca representatividade de unidades vegetacionais homogêneas, impediu a amostragem de todas as classes previstas pelo sistema de classificação proposto. Assim, com base nos conhecimentos pessoais dos autores e o apoio de imagens TM/LANDSAT disponíveis no INPE na escala de 1:250.000 foram selecionadas amostras representativas de ambientes onde predominavam as classes consideradas (mosaicos).

Para facilitar o procedimento de amostragem das imagens NDVI/GAC mensais realizou-se uma análise de componentes principais, cujo procedimento está descrito em Tucker et al. (1985) e Benedetti et al. (1994). Determinou-se visualmente na imagem da primeira componente principal os pontos centrais mais representativos das classes amostradas. A partir desses pontos, valores médios de NDVI foram obtidos através de uma grade de 3 x 3 pixels conforme o procedimento adotado por Justice et al. (1985).

Tentativa de mapeamento de grandes unidades de cobertura vegetal foi realizada através da classificação por fatiamento padrão de imagens componente principal obtidas a partir das imagens NDVI mensais, conforme utilizado por Achard e Blasco (1990).

Ainda de acordo com o sistema de classificação de vegetação proposto por Carvalho (1995), no segundo estágio (abordagem regional) a unidade concreta de classificação é a subclasse de formações, conforme definida nos sistemas da UNESCO (1973) e IBGE (1992). As características da vegetação que podem se expressar de forma mais clara nos produtos utilizados são a forma da folha e o seu comportamento fenológico. No primeiro caso propõe-se a classificação da cobertura vegetal em: estritofoliada, latofoliada, estritolatofoliada e mosaico; e no segundo caso em: caducifólia, perenifólia, subcaducifólia e mosaico.

As imagens AVHRR/HRPT diárias (período de 22 a 25 de junho de 1993) nas bandas 1, 2 e NDVI foram registradas e mosaicadas para minimizar a influência de nuvens. O mosaico resultante (bandas 1,2 e NDVI) foi

classificado através de técnicas de fatiamento e algoritmos não supervisionados. As classes resultantes foram agregadas visualmente com base na experiência dos autores. Na Região Administrativa do Vale do Paraíba foi feita uma análise mais detalhada.

4. RESULTADOS

4.1 Análise das imagens NDVI/GAC

A análise visual da primeira componente principal, resultante das imagens NDVI/GAC mensais (janeiro a dezembro de 1990) apresentou certa dificuldade na definição dos alvos desejados e na separação das áreas com dominância de plantas anuais ou perenes. Diante desta limitação procurou-se identificar áreas suficientemente homogêneas de coberturas da terra conhecidas. A partir desta análise foram identificadas as classes de floresta, agricultura, campos (pastagens), área urbana (deserta) e água. Foram determinados os pontos centrais das áreas mais características, obtendo-se quatro amostras para as três primeiras classes (floresta, agricultura e campo), uma de área urbana (cidade de São Paulo) e três de água (Oceano Atlântico). Estes pontos centrais foram amostrados através de uma grade 3 x 3, obtendo-se os valores médios das amostras para cada classe ao longo do ano (Figura 2).

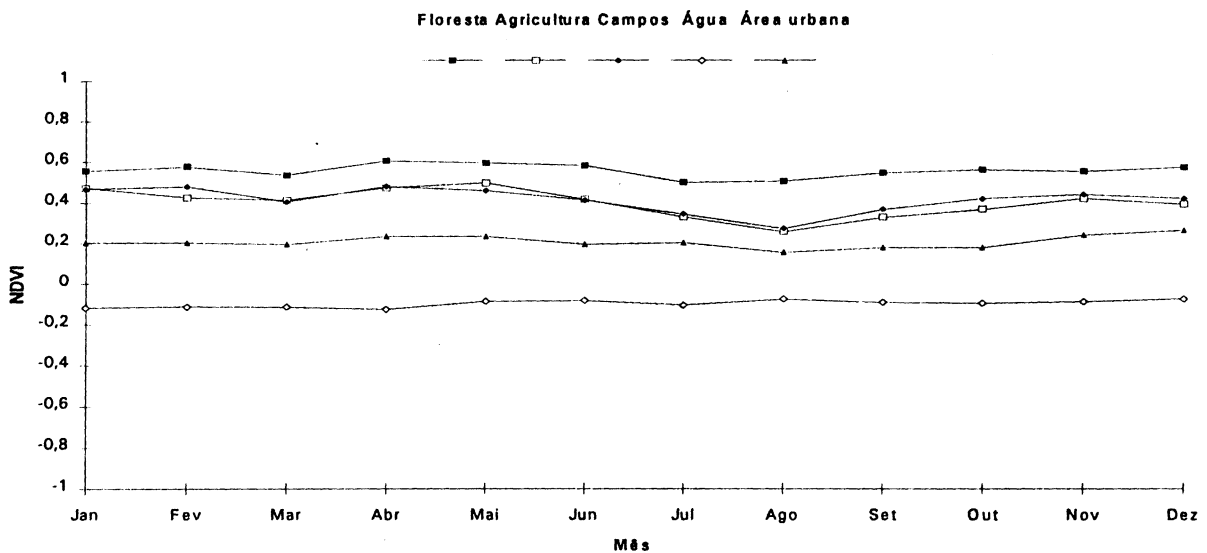


Figura 2. Valores NDVI médios para as classes de cobertura da terra do Estado de São Paulo.

Os valores médio do NDVI apresentados na Figura 2 mostram uma clara diferença entre as classe analisadas exceção feita para as classes de campo e agricultura que seguem uma tendência semelhante. Em geral, as classes com cobertura vegetal (campo, agricultura e floresta) apresentam uma queda nos valores de NDVI a partir de maio-junho atingindo valores mínimos em agosto (final da época seca e do inverno). Os valores de NDVI tornam a aumentar em setembro (início do período chuvoso e da primavera) e apresenta valores máximos para o mês de abril (final da época chuvosa e meio do outono). O comportamento dos valores do NDVI (Figura 2) apresentam-se semelhante aos observados por Justice et al. (1985) e Townshend et al. (1986).

4.2 Análise das imagens AVHRR/HRPT

A técnica de fatiamento permitiu separar as áreas florestais dos demais alvos, diferenciando-se por valores mais altos de NDVI, variando de 0,34 a cerca de 0,64. Porém, uma análise mais detalhada mostrou que as áreas

florestais fragmentadas não podem ser identificadas concordando com os resultados apresentados por Ripple (1994). Por outro lado, mosaicos (diversas classes de vegetação numa mesma área) e complexos arbóreos (p. ex., cerrado), quando densos e em grandes áreas podem ser classificados com áreas florestais.

Apesar de algumas evidências a separação de florestas latifoliadas e estritofoliadas não foi possível devido ao uso de imagens em um único período (22 a 25 de junho). Consequentemente, também não foi possível identificar as estritolatofoliadas, como desejado a nível regional, com base nos trabalhos de Hardisky et al. (1986), Loveland et al. (1991) e Running et al. (1994). Cabe ressaltar que este resultado é limitado devido a não utilização de variáveis como: momento, intensidade e duração do período de atividade fotossintética de cada classe de cobertura vegetal (Lloyd, 1989).

O efeito do sombreamento do relevo é capaz de mascarar a resposta espectral de coberturas florestais em terrenos acidentados, como a Serra do Mar e da Mantiqueira. Este efeito pode também afetar as demais classes de cobertura da terra em condições similares.

A análise das imagens AVHRR/HRPT também mostrou que somente a classe de cobertura florestal (Classe 1) pode ser isolada satisfatoriamente. Os demais alvos foram agregados em mosaicos, podendo ser discriminado como: a) mosaico fechado (Classe 2) com dominância de cobertura arbórea ou arbustiva fechada, com respostas NDVI variando em média entre 0,27 a 0,33, constituídas por maciços florestais fragmentados associados à coberturas menos densas até solo nu (áreas agrícolas ou não); b) mosaico denso (Classe 3) com dominância de cobertura arbustiva ou herbácea densa, com respostas NDVI variando também em média entre 0,20 a 0,26, associadas com áreas de agricultura intensa em pleno estágio vegetativo; c) mosaico aberto (Classe 4) com dominância de cobertura herbácea, densa ou aberta, com valores NDVI variando em média de 0,07 a 0,19, com a presença de muitas áreas de solo nu não discriminados (pastagens naturais e áreas agrícolas em fraco estágio vegetativo); d) mosaico ralo (Classe 5) com dominância de áreas sem cobertura vegetal, com valores NDVI variando em média de 0,06 a - 1,00, constituída por áreas urbanas, solo nu, sombra forte e água. O fatiamento por classes foi estendido para o restante do Estado de São Paulo, permitindo a obtenção do cartograma apresentado na Figura 3 (originalmente colorida).

As estimativas de áreas florestais, através das imagens, mostraram resultados próximos aos do levantamento realizado pelo IF (1993) embora houveram discrepâncias na representação cartográfica dessas áreas. A análise quantitativa da imagem mostrou algumas limitações no atual estágio da pesquisa, não permitindo obter o mesmo nível de precisão alcançado por Stone et al. (1994) que utilizaram um número bem maior de imagens AVHRR/HRPT. Isto indica que uma análise global e regional num período mais amplo deve ser realizada em futuros estudos para melhor avaliar o real potencial destes dados no monitoramento da cobertura vegetal do Estado de São Paulo.

5. CONCLUSÕES

Para ambientes com elevados níveis de fragmentação de áreas os dados NDVI/GAC apresentaram limitações para o acompanhamento da dinâmica da cobertura vegetal. Mesmo com o uso de dados AVHRR/HRPT, o procedimento de densidade de fatiamento exige cuidados metodológicos para obter uma estimativa aceitável das diversas classes de cobertura vegetal. Numa escala global o produto final em termos de mapeamento deverá ser sempre visto como uma generalização e aproximação especialmente para o caso dos dados NDVI/GAC.

A análise quantitativa da imagem mostrou algumas limitações no atual estágio da pesquisa, não permitindo obter o mesmo nível de precisão alcançado em trabalhos que utilizaram um número bem maior de imagens AVHRR/HRPT em outras regiões. Isto indica que uma análise global e regional num período mais amplo deve ser realizada em futuros estudos para melhor avaliar o real potencial destes dados no monitoramento da cobertura vegetal do Estado de São Paulo.

O mapa de cobertura da terra do Estado de São Paulo, apresentado neste trabalho, mantém a perspectiva original da possibilidade da classificação e mapeamento multiestágio da cobertura vegetal, numa escala global e regional. No entanto, resultados mais conclusivos somente poderão ser obtidos com a utilização dos dados AVHRR/HRPT coletados ao longo do ano e com apoio de outros produtos de sensoriamento remoto orbital.

NDVI NOAA/AVHRR: 22-25 JUNHO 1993

ESTADO DE SAO PAULO

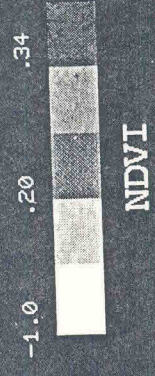
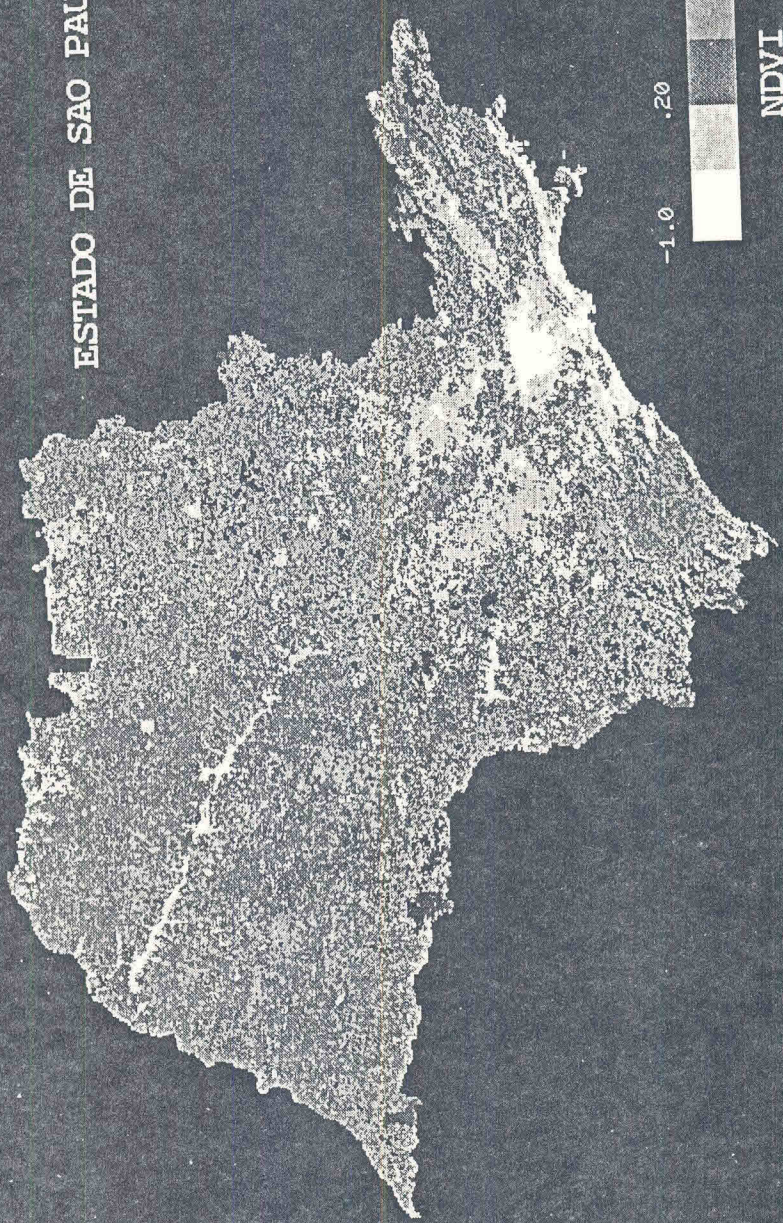


Figura 3: Imagem HRPT/NDVI do Estado de São Paulo classificada por fatiamento

6. REFERENCIAS

- Achard, F., F. Blasco (1990), Analysis of vegetation seasonal evolution and mapping of forest cover in West Africa with the use of NOAA AVHRR HRPT data, *Photogram. Engng. Remote Sensing*, 56(10):1359-1365.
- Benedetti, R., P. Rossini, R. Taddei (1994), Vegetation classification in the Middle Mediterranean area by satellite data, *Int. J. Remote Sensing*, 15(3):583-596.
- Carvalho, V.C. (1995), Proposta de um sistema flexível de classificação fitogeográfica: ênfase no uso de sensoriamento remoto multiestágio (1ª versão). In: XLVI Congresso Nacional de Botânica, Ribeirão Preto, 27 jan. 1995, INPE-5609-PRE/1821.
- Hardisky, M.A., M.F. Gross, V. Klemas (1986), Remote sensing of coastal wetlands, *BioScience*, 36(7):453-460.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1992), *Manual técnico da vegetação brasileira*, IBGE, Manuais Técnicos em Geociências 1, Rio de Janeiro. 92 p.
- Instituto Florestal - IF (1993), Coordenadoria de Informações Técnicas, Documentação e Pesquisa Ambiental. Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo, *Inventário Florestal do Estado de São Paulo*, IF, São Paulo. 199 p.
- Instituto Geográfico e Geológico -IGG (1974), Coordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais. Secretaria de Estado dos Negócios da Agricultura do Estado de São Paulo, *Mapa da Divisão Administrativa e Judiciária do Estado de São Paulo, Escala de 1:1.000.000*, IGG, São Paulo.
- Justice, C.O, J.R.G. Townshend, B.J. Choudhry (1989), Comparison of AVHRR and SMMR data for monitoring vegetation phenology on a continental scale, *Int. J. Remote Sensing*, 10(10):1607-1632.
- Justice, C.O, J.R.G. Townshend, B.N. Holben, C.J. Tucker (1985), Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data, *Int. J. Remote Sensing*, 6(8):1271-1318.
- Justice, C.O, G. Dugdale, J.R.G. Townshend, A.S. Narracott, M. Kumar (1991), Synergism between NOAA-AVHRR and Meteosat data for studying vegetation development in semi-arid West Africa, *Int. J. Remote Sensing*, 12:1349-1368.
- Lacaze, B. (1989), The relationships between remotely sensed vegetation indices and plant canopy properties. In: Barret, E.C., C.H. Power and A. Micallef (eds.) *Satellite Remote Sensing for the Hydrology and Water Management of Mediterranean Coasts and Islands*,. Amsterdam, Gordon and Breach, pp. 137-151.
- Lloyd, D. (1989), A phenological description of Iberian vegetation using short wave vegetation index imagery, *Int. J. Remote Sensing*, 10:827-833.
- Lloyd, D. (1990), A phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery, *Int. J. Remote Sensing*, 11(12):2269-2279.
- Loveland, T.R., J.W. Merchant, D.O. Ohlen, J.F. Brown (1991), Development of a land-cover characteristics database for the conterminous US, *Photogram. Engng. Remote Sensing*, 57(11):1453-1463.

- Malingreau, J.P. (1986), Global vegetation dynamics: satellite observations over Asia, *Int. J. Remote Sensing*, 7;1121-1146.
- Morain, S.A. (1974), Phenology and remote sensing, *In: Phenology and Seasonality Modeling*, Bourlier, F (ed.), New York: Springer-Verlag, p. 55.
- Myers, V.I. (1983), Remote sensing applications in agriculture, *In: Manual of Remote Sensing*, 2 ed., Colwell, R.N. (ed.), Falls Church, Virginia. American Society of Photogrammetry, p. 2111.
- Norwine, J., D.H. Gregor (1983), Vegetation classification based on Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) satellite imagery, *Remote Sensing Environ.*, 13:69-87.
- Perry, C.R., L.F. Lautenschlager (1984), Functional equivalence of spectral vegetation indices, *Remote Sensing Environ.*, 14:169-182.
- Ripple, W.J. (1994), Determining coniferous forest cover and forest fragmentation with NOAA-9 Advanced Very High Resolution Radiometer data, *Photogram. Engng. Remote Sensing*, 60(5):533-540.
- Roller, N.E.G., J.E. Colwell (1986), Coarse-resolution satellite data for ecological surveys, *BioScience*, 36(7):468-475.
- Running, S.W., T.R. Loveland, L.L. Pierce (1994), A vegetation classification logic based on remote sensing for use in global biogeochemical models, *AMBIO*, 23(1):77-81.
- Stone, T.A., P. Schlesinger, R.A. Houghton, G.M. Woodwell (1994), A map of the vegetation of South America based on satellite imagery, *Photogram. Engng. Remote Sensing*, 60(5):541-551.
- Townshend, J.R.G., C.J. Tucker (1981), Utility of AVHRR of NOAA 6 and 7 for vegetation mapping, *In: Matching Remote Sensing Technologies and their Applications Proceedings*. Reading, Remote Sensing Society, pp. 97-110.
- Townshend, J.R.G., C.O. Justice, C.J. Tucker (1986), Techniques for continental land cover classification using remotely sensed satellite data, *In: Mapping from Modern Imagery*, Nottingham, Remote Sensing Society, pp. 34-44.
- Townshend, J.R.G., C.O. Justice, W. Li, C. Gurney, J. McManus (1991), Global land cover classification by remote sensing: Present capabilities and future possibilities, *Remote Sensing Environ.* 35:243-255.
- Tucker, C. J., J.R.G. Townshend, T.E. Goff (1985), African land-cover classification using satellite data. *Science*, 227(4685):369-375.
- UNESCO (1973), *International classification and mapping of vegetation*, Paris, UNESCO, Ecology and conservation, 6, 35 p.
- Vinogradov, B.V. (1977), Remote sensing in ecological botany. *Remote Sensing Environ.* 6(2):83-94.