

## Sensoriamento Remoto Multitemporal aplicado à Cobertura vegetal de Mata Atlântica

Admilson Penha Pachêco, *UFPE Recife*

1. Introdução
2. Fundamentação teórica
3. Metodologia
4. Resultados e Discussão
5. Conclusão
6. Referências bibliográficas

### ► Resumo

## 1. Introdução

Denomina-se Mata Atlântica a formação florestal distribuída ao longo da costa brasileira. Segundo dados do SOS Mata Atlântica e INPE 1992/1993 esta faixa de Mata se estendia, originalmente, em uma faixa de mata contínua desde o estado do Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul. Hoje a Mata Atlântica é um dos ecossistemas mais ameaçados do planeta, restando aproximadamente 5% da sua cobertura original que abrangia, até o início deste século, cerca de 1.100.000 km<sup>2</sup>.

A definição dos limites da Mata Atlântica ainda é controversa, alguns autores definem sua distribuição como restrita a faixa litorânea (Joly et al. 1991, Leitão Filho 1982) enquanto que outros admitem uma penetração para o interior na Região Sudeste.

Segundo a Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia "André Tosello" © Base de Dados Tropical ®, a Mata Atlântica está distribuída ao longo de uma grande variação de latitudes, ocupando cerca de trinta graus de latitude, desde seu limite norte até o seu limite sul. Também possui grande variedade altitudes, ocupando áreas desde o nível do mar podendo chegar até aproximadamente três mil metros de altitude no topo das serras. Esta distribuição geográfica ocasiona uma grande variedade ambiental tanto no clima e relevo como no solo além de outros. Por conseqüência, encontramos na Mata Atlântica uma grande variedade de espécies, concentrando neste ecossistema uma parte considerável da biodiversidade de flora e de fauna do Brasil e do mundo.

O nível de destruição observado na Mata Atlântica é tão alarmante, alerta a Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia "André Tosello" © Base de Dados Tropical ®, que em 1992 este ecossistema foi elevado a categoria de Reserva da Biosfera (CMA 1992), numa tentativa de se conter o desmatamento, favorecer o levantamento da biodiversidade existente e estabelecer planos de manejo para a região. Ainda se conhece muito pouco a flora e a fauna da Mata Atlântica. Por isso é tão importante a implantação de projetos visando primeiramente o

conhecimento desta biodiversidade e do estabelecimento de planos de manejo viáveis para a Mata Atlântica.

A FAO (1998) define a degradação ambiental como a redução temporária ou permanente da capacidade produtiva de um ecossistema. A ocupação desordenada da terra sem o emprego de técnicas adequadas de manejo de solo e de vegetação conduz à degradação ambiental, que por sua vez acarreta mudanças no uso e na cobertura vegetal. Dentre as principais causas da degradação ambiental da Mata Atlântica destacam-se: desmatamento e a remoção da vegetação nativa, o uso excessivo da madeira para fins domésticos, uso agrícola, a pecuária extensiva, formação de pastagens, as queimadas, produção de energia para finalidades diversas. A retirada da lenha para energia constitui ameaça ao meio ambiente na medida que esta remoção excede o poder natural de restauração da vegetação nativa.

O conhecimento atualizado da distribuição e da área ocupada pela agricultura, vegetação natural, áreas urbanas e edificadas, bem como informações sobre as proporções de suas mudanças, se tornam cada vez mais necessárias aos legisladores e planejadores. Desse modo, existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso do solo, para que suas tendências possam ser analisadas. Neste contexto, o sensoriamento remoto constitui-se numa técnica de grande utilidade, pois permite em curto espaço de tempo a obtenção de uma grande quantidade de informações espaciais, espectrais e temporais.

O advento dos satélites de sensoriamento remoto tem favorecido, nos últimos anos, a realização de levantamentos à distância de variações físicas e químicas da superfície terrestre em áreas extensas e inóspitas, favorecendo, principalmente, os mapeamentos e monitoramentos sazonais da superfície da Terra. A composição espectral do fluxo radiante proveniente da superfície da Terra produz informações sobre propriedades físicas, químicas e biológicas de solos, vegetações e águas que caracterizam o sistema terrestre (Huete, 1988). O conceito múltiplo é facilmente entendido, quando, ao analisar as imagens, observa-se que diferentes objetos ou materiais apresentam características próprias (tons de cinza, forma, padrão, etc.) que vão se modificando ou assumindo novas características, conforme sejam observadas em imagens de diferentes bandas espectrais (Meneses, 1988). Segundo Jensen (1986) e Novo (1989) a visão sinóptica e os aspectos multiespectral e multitemporal dos sensores orbitais, aliada ao crescente desenvolvimento de sistemas computacionais (*hardware* e *software*) de tratamento digital de imagens, caracteriza o sensoriamento remoto como uma tecnologia imprescindível no estudo espacial, espectral e temporal e na análise das variações ambientais terrestres.

O uso do sensoriamento remoto com base na análise de imagens de satélites é um dos meios que se dispõem hoje para acelerar e reduzir custos dos mapeamentos e da detecção de mudanças geoambientais. Em combinação com dados de aerofotogrametria e Geodésia, com os recentes recursos do Sistema de Informações Geográficas (SIG) e aliado às novas técnicas de processamento e aos novos sensores, as imagens de satélite oferecem possibilidades, ainda pouco exploradas, de gerarem informações sinópticas e precisas para a avaliação e evolução de diversas variações temáticas da superfície terrestres.

A década de 80 trouxe a explosão tecnológica dos processadores digitais e uma queda acentuada nos custos envolvidos. Esses fatores causaram fortes reflexos na computação gráfica, na qual se baseia o processamento digital de imagens. Em consequência, os sistemas especializados no processamento de imagens de sensoriamento remoto ficaram ao alcance de uma comunidade muito maior de usuários, sendo comum encontrá-los hoje nas universidades, instituições públicas, empresas públicas e privadas e até mesmo em escolas (Crosta, 1992).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo o estudo e a aplicação espacial, espectral e temporal de Sensoriamento Remoto relativo a cobertura vegetal de Mata Atlântica/Plano Piloto ( Mata do Zumbi - Reserva Nacional de Mata Atlântica - Pernambuco/ Brasil), visando a análise

e a implementação de uma metodologia para o monitoramento de reservas remanescentes da Mata Atlântica no Estado de Pernambuco.

## **2. Fundamentação tórica**

No sensoriamento remoto a identificação e distribuição dos objetos ou materiais é feita pelas suas diversas características espectrais expressas nas várias bandas de um sensor. Por sua vez, quanto maior for o número de imagens e bandas, que a complementem, maior será o volume de dados, tornando-se necessário o uso de técnicas automáticas de análise, que pela versatilidade própria dos computadores, introduz múltiplas formas de abordagem de dados ( Lillesande e Kiefel, 1987). Slater (1980), afirma que os sistemas sensores multiespectrais são idealizados para atender a uma multidisciplinaridade de aplicações. Ao especialista e usuário de sensoriamento remoto é exigido um mínimo de conhecimento sobre as propriedades físicas e químicas dos diferentes materiais que compõem a superfície do terreno, pois a informação espectral que estará contida em cada elemento de resolução do terreno (pixel), será uma integração do conjunto de propriedades destes materiais (normalmente vegetação, solo, rocha e água). Portanto, para um entendimento melhor do conceito de sensoriamento remoto, devemos ter sempre em mente que todo o processo de observação e obtenção de informação está agrupado em três parâmetros intimamente correlacionados: resolução espacial, resolução espectral e resolução radiométrica.

Segundo Collwel (1983), dados de comportamento espectral da vegetação mostram que estudos relacionados com a diferenciação de solo e vegetação, diferenciação entre vegetação coníferas e decíduas, reflectância da vegetação verde, absorção de clorofila, diferenciação de espécies vegetais, levantamento de biomassa e medidas de umidade de vegetação predominam a utilização de janelas atmosféricas do visível ( 0,45 - 0,72  $\mu\text{m}$  ) e infravermelho próximo ( 0,76 - 1,75  $\mu\text{m}$  ). Estudos relacionados com estresse térmico em plantas e mapeamento termal predomina a utilização de faixas espectrais do infravermelho termal (8 - 14  $\mu\text{m}$ ).

Curran (1985), diz que o sensoriamento remoto ampliou a capacidade do homem em obter informações sobre os recursos naturais e o meio ambiente, colocando-se como mais uma ferramenta complementar para facilitar trabalhos temáticos e de levantamentos. Segundo Novo (1989), as principais vantagens que justificam os programas de sensoriamento remoto orbital são as seguintes: estímulo às pesquisas multidisciplinares; informações de áreas de difícil acesso; universalização dos dados e das técnicas de tratamento e análise de dados digitais; facilidade do recobrimento de grandes áreas (visão sinóptica); cobertura repetitiva com mesma hora local; grande quantidade de dados pontuais, sobre uma mesma área; transferência de dados Satélite/Terra em tempo real; e o aspecto multiespectral, isto é, a capacidade dos sistemas sensores gerarem produtos em diferentes faixas espectrais, tornando possível o estudo e análise de diferentes elementos, os quais são identificados em determinadas faixas do espectro.

Pontes et al. (1990), empregando imagem Landsat TM-5, na banda 5, realizaram processamento digital e observaram que a alta reflectância está relacionada aos sedimentos paleozóicos e areias coaluviais, com cobertura vegetal tipo campo, e que a média e baixa reflectância estão relacionadas com aluviões em zona de alta umidade. Paradela et al. (1990), fazendo uso de imagens Landsat/TM e Spot/HRV em mapeamento geológico, combinando-as e processando-as automaticamente, mostraram que as discriminações litológicas podem ser melhoradas pela combinação da banda pancromática do Spot (elevada resolução espacial), com as bandas do infravermelho do TM, e que a visão estereoscópica das imagens obtida pelo Spot pode ser combinada com os produtos TM realçados digitalmente, na otimização da interpretação na escala de detalhes. Formagio et al (1995), identificaram 14 classes de solo de maior ocorrência e de grande significância pedológica e agrícola do Estado de São Paulo.

Através das características multiespectrais destes solos, eles definiram 4 tipos padrões de curvas espectrais. Morais et al. (1995), elaboraram um mapa de uso da terra de uma área de reconhecidamente ocupada por florestas e pastagens na região de Rodônia, e a partir desta área, extrapolaram a classificação do uso da terra para uma área maior. Para tanto, utilizaram técnicas processamento digital em imagens Landsat TM-5.

Demattê e Garcia (1995), utilizando dados digitais do Landsat TM-5 processado pelo SITIM ( Sistema de Tratamento Digital de Imagens), na discriminação de solos desenvolvidos em rochas eruptivas no Estado do Paraná, concluíram que a aplicação de técnicas multiespectrais, podem trazer informações complementares para o mapeamento de solos, havendo com isso, ganho de tempo e maior precisão na delimitação das unidades de mapeamento.

Simões et al. (1995), propuseram a criação de uma cooperativa de dados ambientais, através do Sistema de Informações Georeferenciadas de solos da EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Na alimentação deste sistema poderiam ser destacadas as imagens de satélites como fontes de informações geográficas. Santos et al. (1995), com o objetivo de demonstrar a eficiência de produtos orbitais, utilizaram imagens Landsat TM-5 no mapeamento do uso atual das terras e da cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Canduru-Açu. Obtiveram resultados satisfatórios com imagens em composição colorida na escala 1:100.000. Huete & Warrick, 1990 e Spanner et al. 1994 realizaram estudos sobre a abundância, composição e produtividade da vegetação através de técnicas de sensoriamento remoto, fundamentadas em índices espectrais de diferenças da vegetação normalizados (NDVI). Bausch, (1993) e Liu & Huet ( 1995) enfatizaram a dificuldade gerada pela influência das componentes de energia radiante refletida pela atmosfera e solo na estimativa de índices de espectrais (NDVI). Levantamentos e monitoramentos globais da vegetação tem sido realizados a partir da utilização de índices espectrais (NDVI) obtidos a partir de dados do satélite meteorológico NOAA-7 (Tarpley et al. 1984; Spanner et al. 1990).

Em anos recentes, com a perspectiva da popularização em um futuro próximo de dados provenientes de sensores hiper-espectrais aliada ao desenvolvimento de softwares e hardwares cada vez mais poderosos e acessíveis a um custo cada vez menor, vários modelos que atacam o problema da decomposição espectral ao nível de subpíxel tem sido sugeridos. Um dos modelos mais utilizados em dias atuais, e que tem servido como base para várias adaptações foi proposto por Smith et ali. em 1987. Além de atacar o problema da decomposição espectral e avaliação das frações dos membros finais presentes em um dado píxel o modelo integra dados espectrais de laboratório no aprimoramento da calibração para a correção dos efeitos da atmosfera sobre o sinal gerado pelo sensor.

Quando aplicada ao sensoriamento remoto a análise de misturas tem sido utilizada para decompor as curvas espectrais em espectros dos membros finais presente em um dado píxel. Além disso, com a análise de misturas é possível medir a contribuição relativa de cada um dos membros finais (Accioly, 1997; Accioly et ali., 1998; Huete, 1986). Dessa forma a análise de misturas espectrais (AME) representa uma técnica especial de classificação de imagens que permite a classificação dos alvos ao nível de subpíxel.

A fragmentação florestal é a substituição de áreas de floresta nativa por outras formas de uso da terra, deixando isoladas suas partes, com conseqüências negativas para o conjunto de seus organismos. A fragmentação reduz a área coberta por florestas, podendo resultar em extinção de algumas espécies (Murcia, 1995). Tomando como base essa breve definição o trecho de revisão a seguir trata das aplicações da análise de misturas espectrais de interesse para o estudo dos fragmentos de vegetação.

A AME tem sido utilizada para avaliar as frações de solos, minerais e vegetação como coberturas superficiais (Huete et ali., 1985; Huete, 1986; Smith et ali., 1990; Roberts, 1991). Hlavka e Spanner (1995) utilizou a AME para detectar, quantificar, e mapear três estágios diferentes de degradação florestal no estado de Oregon: áreas de clareiras (a maior parte das

quais representada por solo descoberto), áreas com florestas secundárias, e áreas com 75% ou mais de cobertura de floresta de coníferas. Os resultados de mapeamento desses tres tipos de coberturas utilizando AME em imagens do sensor Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) foram promissores.

Forshi (1994) revisou os diferentes métodos utilizados para a decomposição da resposta espectral de píxel com misturas de diferentes componentes e concluiu que os métodos estatísticos utilizados para estimar as frações desses componentes são bem sucedidos quando as classes de componentes apresentam uma boa separação.

### **3. Metodologia**

A área de estudo foi definida como a Mata do Zumbi, Reserva Nacional de Mata Atlântica localizada na região do Porto de Suape, limitada pelas coordenadas - 8° 19' 17" e - 35° 11' 32" no litoral sul do Estado de Pernambuco.

A metodologia envolveu a utilização de cartas topográficas, Levantamentos com GPS (Sistema de Posicionamento Global), fotografias aéreas e imagens de satélite de três períodos distintos: 1974, 1984 e 1999. Imagens Landsat/MSS, Landsat/TM-5 e Spot/HRV (multiespectral e pancromática) da região em estudo foram georeferenciadas e processadas no software ERDAS-IMAGINE (versão 8.4). Técnicas de processamento digital de imagens (realces, filtragens e classificações multiespectrais) foram testadas e analisadas com o objetivo de se extrair informações espaciais, espectrais e temporais sobre a cobertura vegetal da Mata do Zumbi.

Inicialmente, analisou-se as imagens de satélite de sensoriamento remoto disponível no mercado em termos de performance para o desenvolvimento do trabalho. Levou-se em consideração os aspectos espectral e espacial, e a relação custo benefício. Chegou-se a conclusão da necessidade de aquisição de imagens Landsat TM-5 e Spot/HRV (pancromático). As imagens Landsat TM-5 foram adequados ao estudo, devido ,principalmente, o aspecto multiespectral que as caracterizam, com a disponibilidade de um número maior de bandas espectrais para a análise digital dos dados. A exigência de se elaborar uma base cartográfica na escala de 1: 25.000 é justificativa maior para aquisição da imagem Spot/HRV, já que estas imagens apresentam resolução espacial de 10 metros.

Adquiriu-se a imagem Landsat TM-5 (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 cena inteira) mais recente que apresentava o menor percentual de cobertura de nuvens (30%). O mesmo critério foi utilizado para a obtenção da imagem Spot/HRV (pancromático).

Composições de Imagens Landsat TM-5 da área em estudo foram analisadas no sistema de processamento digital de imagens ERDAS-8.4. O processo de interpretação digital da imagem Landsat TM-5 foi inicializado com a análise das melhores combinações de bandas para o estudo da cobertura vegetal da Mata do Zumbi. Em seguida, foi realizado o processo de registro da imagem Landsat. Paralelamente, realizou-se o processo de registro na imagem Spot/HRV. Diferentes técnicas de processamento digital de imagens foram utilizadas com o objetivo de realçar e classificar feições nas imagens Landsat e Spot.

No processo de retificação da imagem Landsat TM-5, identificou-se 25 pontos de controle bem distribuídos sobre a imagem da área em estudo e obteve-se seus homólogos através de levantamentos com o GPS (Sistema de Posicionamento Global). Utilizou-se o receptor diferencial TRIMBLE 4000 SST (precisão nominal de  $1 \pm 2$  ppm.) com comprimentos de onda L1 (19 cm) e L2 (24 cm). A base de referência escolhida foi estação da CELPE (Companhia Elétrica de Pernambuco) localizada no município do Cabo a aproximadamente 10 km da Mata do Zumbi. A identificação dos pontos de controle foi auxiliada por levantamento com GPS de navegação GAMIN 45 (precisão nominal de 100 metros).O tempo médio de observação para cada ponto foi de 50 minutos. Utilizou-se o Programa GPSsurvey para o tratamento dos dados. As coordenadas geodésicas relativas a estes pontos foram repassadas para o ERDAS

através do editor GCP (grupo de pontos de controle). Utilizou-se o método de reamostragem "vizinho mais próximo" e a imagem foi georeferenciada para o sistema de projeção UTM (Universal Transverse of Mercator) pelo o datum SAD69 (South American Datum).

O processo de retificação da imagem Spot foi semelhante ao descrito anteriormente para a imagem Landsat, porém a identificação dos pontos de controle foi facilitada devido a melhor resolução espacial da imagem Spot.

Analisou-se as diferentes combinações de bandas com o objetivo de identificar preliminarmente os diferentes usos e de definir as melhores composições de bandas da imagem Landsat para a caracterização multitemporal e multiespectral da Mata do Zumbi . Utilizou-se o processo de filtragem digital (passa alta) com um filtro (3x3) para identificação de bordas e limites. Testou-se diferentes modelos de índices espectrais de diferença de vegetação normalizados (NDVI) com a finalidade de discriminar as coberturas vegetais existentes e técnicas de misturas espectrais. Paralelamente, realizou-se o realce espectral (equalização de histograma) e o realce radiométrico (componentes principais) com o objetivo de enfatizar algumas feições. Estes testes foram realizados nas composições espectrais (3, 2 1) e (5, 4, 3), separadamente, em janelas do ERDAS-8.4, com o objetivo de preservar os níveis de cinza da imagem original a ser classificada. De posse destas informações complementares, iniciou-se o processo de classificação multiespectral na imagem (3, 2, 1). Inicialmente, fez-se uma classificação não supervisionada utilizando o programa "Isodata" ( Gonzalez,1974) com objetivo de estimar os diferentes tipos de cobertura vegetal da Mata do Zumbi. Estabeleceu-se o número de classes de acordo com o que foi observado visualmente e através dos subsídios fornecidos pelas técnicas de interpretação digital testadas anteriormente. Simulações foram feitas considerando o limite de 14 classes. Em seguida, iniciou-se o processo de classificação supervisionada pelo método da Máxima Verossimilhança (Hord, 1982). Amostras de treinamento representativas das classes em estudo foram extraídas da imagem com simultâneo trabalho de reconhecimento de campo com GPS. Retirou-se 10 amostras para cada classe com tamanho aproximado de 100 pixels. Estas amostras foram mescladas de forma que a soma total foi representada numa única amostra para cada classe. A imagem foi classificada pelo critério de decisão "Baesiano" e a precisão da classificação foi avaliada pela matriz de contingência.

A utilização do Programa "RESMERGE" permitiu a geração de uma imagem híbrida com as características espectrais Landsat e espaciais Spot/HRV (pancromático).

As técnicas de processamento digital de imagens descritas anteriormente foram utilizadas nas imagens de períodos de 1974, 1984 e 1999.

Utilizou-se dos recursos vetoriais dos softwares ERDAS 8.4 e MICROSTATION para geração e edição das cartas temáticas temporais, que foram geradas para a criação de uma Base Cartográfica Digital e temporal da região de Suape. Região esta que engloba a Mata do Zumbi. Diante do conjunto de informações espaciais, espectrais e temporais adquiridas, gerou-se mapas temáticos finais da Mata do Zumbi.

#### **4. Resultados e Discussão**

A precisão geodésica média envolvida na obtenção dos pontos de controle foi de aproximadamente 3,5 cm. O erro quadrático médio envolvido (RMS) na Retificação da imagens Landsat e Spot ficou em torno de 1 pixel.

As combinações de bandas (3,2,1) e ( 5,4,3) foram as que apresentaram melhor diferenciação dos temas visualizados. A aplicação da técnica de realce (Equalização de Histograma) resultou em uma imagem (5,4,3) com melhor qualidade visual, o que favoreceu a aplicação das técnicas subsequentes. A aplicação da técnica de realce (Principais Componentes) resultou em uma nítida separação de feições espectrais na cobertura vegetal. Feições estas, que não haviam sido discriminados nas diferentes combinações de bandas testadas anteriormente. Os

teste realizados com índices espectrais para a geração de imagens NDVI foram úteis apenas na discriminação de coberturas vegetais de texturas densas e menos densas. Acredita-se que predominou a influência da componente de energia radiante refletida pelo solo nos resultados, já que foi efetuada uma correção atmosférica antes de se obter a imagem NDVI. A utilização da técnica de filtragem espacial (Passa Alta) na composição (3,2,1) permitiu uma melhor visualização dos limites da área de estudo, o que favoreceu a vetorização de determinadas feições. Os trabalhos de reconhecimento de campo com GPS auxiliado pela classificação automática não supervisionada (Isodata) favoreceram a definição de amostras de treinamento representativas das classes interesse e isto auxiliou a classificação multiespectral supervisionada (Maxver) realizada. Os resultados da matriz de contingência mostraram que a maioria das classes apresentaram erros satisfatórios iguais ou inferiores a 4%. Este resultado pode ser justificado pela dificuldade na escolha de amostras de treinamento, o que é perfeitamente justificável. Obteve-se com o resultado do Estudo e Aplicação das Técnicas de Sensoriamento Remoto 5 tipos de cobertura vegetais. Estes dados raster foram vetorizados utilizando-se dos recursos vetoriais do software ERDAS-8.4.

A Tabela 1. Caracteriza os quantitativos espaciais da Cobertura Vegetal da Mata do Zumbi relativos aos períodos de 1974, 1984 e 1999. Estes resultados mostram o nível de degradação da Mata do Zumbi nos últimos 26 anos.

COBERTURA VEGETAL			
Ano	1974	1984	1999
Área (hectares)	292,40	281,20	204,20

## 5. Conclusão

Os resultados obtidos mostraram que a metodologia empregada neste trabalho, do ponto de vista da análise e aplicação, é muito eficaz no monitoramento espacial e espectral de coberturas vegetais. Acredita-se, porém, que com a realização de uma atividade de campo mais qualificada, principalmente em classes superpostas, é possível se conseguir resultados mais expressivos e conseqüentemente obter-se informações espectrais, espaciais e temporais mais representativas da cobertura vegetal. A utilização de levantamentos radiométricos de dados reflectância espectral pode ser uma alternativa à minimização dos erros de superposição entre classes. Os dados de campo de fator de reflectância bidirecional são indispensáveis. Isto mostra a necessidade da utilização da radiometria com base para geração de aplicações consistentes na área de Sensoriamento Remoto. O fato de se ter realizado a retificação antes da classificação foi muito útil na definição e confirmação das amostras de treinamento a partir de levantamentos com GPS. Entretanto, sugere-se que este processo seja efetuado como atividade paralela em outras janelas do software. A classificação não supervisionada (Isodata) é imprescindível como técnica auxiliar para conduzir os trabalhos de campo. Sendo, neste sentido, importante para estimar o número de classes. Constatou-se também, que é necessário escolher o maior número de amostras representativas possíveis, para que a matriz de contingência apresente erros menores e precisão da classificação supervisionada (Maxver) seja mais eficiente. Ressalta-se o aspecto espectral das imagens Landsat/TM, o aspecto espacial da imagem Spot/HRV (pancromático), os levantamentos com GPS e a alta performance do software processamento digital de imagens ERDAS-8.4 no emprego de técnicas de sensoriamento remoto.

## **6. Referências Bibliográficas**

ACCIOLY, L.J. de O. Applying spectral mixture analysis (SMA) for soil information extraction on the Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) data. Tucson-AZ, The University of Arizona, 1997. 284p. Tese de Doutorado.

ACCIOLY, L.J. de O.; HUETE, A.R.; BATCHILY, K.. Using mixture analysis for soil information extraction from an AVIRIS scene at the Walnut Gulch Experimental Watershed-Arizona. In. Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos-SP, 1998. Publicado em CD-rom.

CROSTA, A. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento remoto, IG/UNICAMP, Campinas, São Paulo, 1992. 170p.

CURRAN, P. J. Principles of remote sensing. London: Longman, 1985, 282p.

FOSCHI, P.G. 1994. A geometric approach to a mixed pixel problem: Detecting subpixel woody vegetation. *Remote Sens. Environ.* 50:317-327.

GONZALEZ, R. C., & WINTZ, P. 1977. *Digital Image Processing*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company, 1977, 405p.

HLAVKA, C.A.; SPANNER, M.A.. Unmixing AVHRR imagery to access clearcuts and forest regrowth in Oregon. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* , 33:788-795. 1995.

HORD, R. *Digital Image Processing of Remotely Sensed Data*. New York: Academic Press, 1982, 345p.

HUETE, A.R.. Separation of soil-plant spectral mixtures by factor analysis. *Remote Sen. Environ.* 19:237-251. 1986.

HUETE, A.R.; ESCADAFAL, R.. Assessment of biophysical soil properties through spectral decomposition techniques. *Remote Sen. Environ.* 35:149-159. 1991.

HUETE, A.R.; JACKSON, R.D.; POST, D.F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sens. Environ.* 17:37-53. 1985.

HUETE, A. R. 1988. Adjusting Vegetation Indices for Soil Influences. *International Agrophysics.* 4 (4):367-376, 1988.

JENSEN, JOHN R. *Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1986, 486p.

JOLY, C. A; LEITÃO FILHO, H. F.; SILVA, S. M. 1991. O patrimônio florístico. In: *Mata Atlântica* (G. Câmara, ed.) *Index&SOS Mata Atlântica*, São Paulo. p. 9-128.

LEITÃO FILHO, H. F. 1982. Aspectos taxonômicos das florestas do estado de São Paulo. *Silvicultura em São Paulo* 16A (especial). p. 197-205.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *TREE*, 10:58-62, 1995.

NOVO, E. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São Paulo. Edgard Blucher, 1989, 307p.

SMITH, M.O.; ROBERTS, D.A.; SHIPMAN, H.M.; ADAMS, J.B.; WILLIS, S.C.; GILLESPIE, A.R. 1987. Calibrating AIS images using the surface as a reference. p. 63-69. *In* Proceedings of 3rd Airborne Imaging Spectrometer Data Analysis Workshop. JPL Publicaions. Jet Populsion Laboratory, Pasadena, CA. 2-4 June, 1987.

SMITH, M.O.; USTIN, S.L; ADAMS, J.B.; GILLESPIE, A.R. Vegetation in deserts: 1. A regional measure of abundance from multispectral images. *Remote Sensing of Environment*, 31:1 - 26. 1990.

ROBERTS, D.A.. Separating spectral mixtures of vegetation and soils. Ph.D. thesis, University of Washington, Seattle. 1991.

#### Agradecimentos

O autor deste trabalho agradece ao Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e a administração do Porto de Suape o apoio recebido.

**Autores**            Prof. Dr. Admilson Pachêco  
                          Universidade Federal de Pernambuco  
                          Departamento de Engenharia Cartográfica  
                          Fone/Fax: (081) 2718235  
                          50000 Recife - Brasil  
                          ✉ admilpp@npd.ufpe.br