

ALZIR FELIPPE BUFFARA ANTUNES

**Análise do uso do Processamento Digital de Imagens  
na Segmentação de Tipologias Vegetais  
da APA de Guaraqueçaba – PR.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau e título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares

CURITIBA  
1996

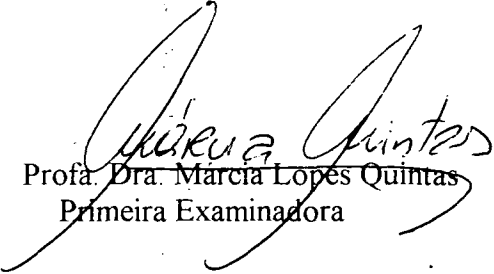
**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**  
**SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

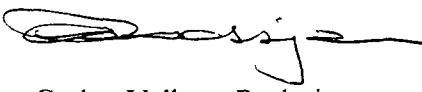
**P A R E C E R**

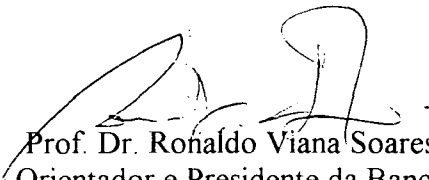
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **ALZIR FELIPE BUFFARA ANTUNES**, sob o título "**ANÁLISE DO USO DO PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS NA SEGMENTAÇÃO DE TIPOLOGIAS VEGETAIS DA APA DE GUARAQUEÇABA - PR.**", para obtenção do grau de **Mestre** em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **CONSERVAÇÃO DA NATUREZA**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com média final: (9,0), correspondente ao conceito: (A).

Curitiba, 20 DE SETEMBRO DE 1996

  
Prof. Dra. Márcia Lopes Quintas  
Primeira Examinadora

  
Prof. Dr. Carlos Vellozo Roderjan  
Segundo Examinador  
UFPR

  
Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares  
Orientador e Presidente da Banca  
UFPR



*Aos meus pais,  
Zico e Futin.*

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos as instituições:

- Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento (CIEG) da Universidade Federal do Paraná, pela disponibilização do laboratório e pelo suporte técnico;
- Fundação Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Paranaguá (FAFIPAR), por patrocinar este estudo;
- Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental (SPVS) e U.S.Forest Service, pela cooperação técnica e cessão dos dados.

Aos profissionais cujo o conhecimento e amizade foram fundamentais para realização dessa dissertação:

- Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares (orientador) Departamento de Silvicultura e Manejo, UFPR;
- Prof. Dr. Franklin Galvão, Departamento de Silvicultura e Manejo (co-orientador), UFPR
- Profa. Dra. Yoshiko Saito Kuniyoshi, Departamento de Silvicultura e Manejo, UFPR;
- Profa. Mirna Cortopassi Lobo, CIEG;
- Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner, Departamento de Silvicultura e Manejo, UFPR;
- Profa. Neusa Teixeira Stahlschmidt, Departamento de Geociências, UFPR;
- Prof. Ivan Petry Maciel, Diretor FAFIPAR
- Analista de Sistemas Priscila Zardo, CIEG.

Estendo também minha gratidão a Christoph Jaster, Gustavo Cúrcio (EMPRAPA), John Pye (U.S Forest Service), Maria Vitória Muller (SPVS) e Profa. Leide Y. Takahashi (FUEM), pela inestimável colaboração. A André Luiz Martins pelo estímulo e apoio de campo, Luiz Viveros Sunico (UFPR) pela digitalização dos dados altimétricos e a Dra. Christel Lingnau (UFPR) pelas sugestões.

E por fim, minha mais profunda gratidão à Profa. Dra. Futin Buffara Antunes, minha mãe, por incentivar este trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vi
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>LISTA DE ANEXOS</b> .....	viii
<b>RESUMO</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	01
1.1 Objetivos.....	03
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	04
2.1 ASPECTOS FITOGEOGRÁFICOS DA REGIÃO.....	04
2.1.1 Clima.....	04
2.1.2 Geologia e geomorfologia.....	04
2.1.3 Vegetação.....	07
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO.....	11
2.2.1 Sensoriamento remoto.....	11
2.2.2 Imagem <i>Landsat-TM5</i> .....	13
2.2.3 Refletância da cobertura vegetal.....	15
2.2.4 Processamento digital.....	16
2.2.5 Classificação da vegetação.....	20
<b>3 MATERIAL E MÉTODO</b> .....	25
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.2 COLETA DOS DADOS.....	27
3.2.1 Formato dos dados digitais.....	27
3.2.2 Imagens.....	28
3.2.3 Pontos GPS (Global Position System).....	30
3.2.4 Outras fontes.....	30

3.3 EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS.....	31
3.4 PROCESSAMENTO DA IMAGEM.....	32
3.4.1 Correção de ruídos.....	32
3.4.2 Retificação.....	32
3.4.3 Operações aritméticas.....	35
3.5 DIGITALIZAÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL.....	36
3.6 MODELO DIGITAL DO TERRENO.....	37
3.7 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA.....	38
3.7.1 Seleção das áreas de treinamento.....	39
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
4.1 ASSINATURAS.....	41
4.1.1 Características.....	43
4.1.2 Avaliação estatística das assinaturas.....	49
4.1.3 Reedição.....	54
4.2 CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM.....	55
4.2.1 Avaliação das classes.....	56
4.2.2 Acurácia da imagem classificada.....	60
4.3 PÓS-CLASSIFICAÇÃO.....	65
4.3.1 Avaliação da acurácia da pós-classificação.....	69
4.3.2 Verificação de campo.....	72
4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>79</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>81</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>102</b>

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Bandas espectrais do <i>Landsat</i> TM5.....	14
TABELA 2: Coordenadas UTM da área de estudo.....	26
TABELA 3: Valores de níveis de cinza antes e depois da retificação.....	35
TABELA 4: Três diferentes assinaturas de F.P.I Fluvio-marinha (manguezais).....	50
TABELA 5: Matriz variância-covariância para mangues 2.....	51
TABELA 6: Características das categorias de vegetação da imagem classificada.....	58
TABELA 7: Matriz de erros da classificação.....	62
TABELA 8: Acurácias da classificação.....	63
TABELA 9: Matriz de erros da pós-classificação.....	70
TABELA 10: Acurácia da Pós-classificação.....	70
TABELA 11: Comparação dos dados de campo com os dados classificados na imagem. Perfil inicia próximo à praia Deserta e termina na Baía dos Pinheiros.....	76

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Reflexão das folhas, observando-se no plano do infravermelho (0.75-1.3 $\mu\text{m}$ ) a baixa absorção da água.....	16
FIGURA 2: Histograma de frequência da banda 4 (infravermelho) e histograma entre duas bandas quaisquer ( <i>scattergrama</i> ).....	18
FIGURA 3: Classificação pelo método da mínima distância, onde $\mu$ é a média dos níveis de cinza para cada banda.....	21
FIGURA 4: Localização da área de estudo.....	26
FIGURA 5: Composição colorida da área de estudo. Combinação bandas 5-4-3.....	29

FIGURA 6: Fluxograma, etapas de digitalização das curvas de nível de cartas topográficas rasterizadas.....	37
FIGURA 7: Superfície e grade regular dos dados altimétricos.....	38
FIGURA 8: Fluxograma de seleção das áreas de treinamento através de interpretação visual e GPS.....	40
FIGURA 9: Editor de assinaturas.....	42
FIGURA 10: Áreas de manguezais no setor sul da Ilha das Peças. Observa-se o predomínio de <i>Rhizophora mangle</i> e a ocorrência de <i>Spartina</i> sp.....	45
FIGURA 11: Restingas próximas ao antigo farol do canal de Sueste da Ilha das Peças; vegetação baixa e pouco desenvolvida junto a praia.....	46
FIGURA 12: Formação das Terras Baixas após a faixa de manguezais, interior da Ilha das Peças.....	46
FIGURA 13: A Formação Pioneira de Influência Fluvial pouco desenvolvida e em zonas alagadas no interior da Ilha das Peças.....	47
FIGURA 14: Cordões litorâneos, pequenas dunas com vegetação rala, próximo à Praia Deserta na Ilha do Superagui.....	47
FIGURA 15: Vegetação alterada e ilhas de capoeira entre as zonas de pastagens, próximas à estrada PR 405 no interior da Baía de Guaraqueçaba.....	48
FIGURA 16: Formação submontana alterada junto a estrada PR 405, a 10 km de Guaraqueçaba.....	48
FIGURA 17: Elipses referentes a seis diferentes assinaturas.....	52
FIGURA 18: Imagem classificada da vegetação.....	59
FIGURA 19: Imagem temática georeferenciada com as variações de altitudes.....	66
FIGURA 20: Imagem pós-classificada da vegetação.....	67
FIGURA 21: Visualização 3D da imagem pós-classificada.....	68
FIGURA 22: Fluxograma do processo de classificação da vegetação.....	69
FIGURA 23: Arquivo de atributos gerado na pós-classificação.....	73



FIGURA 24: Mapa pós-classificado, porção sul da Ilha do Superagui, com o alinhamento do perfil levantado em campo.....	74
FIGURA 25: Perfil longitudinal longitudinal da vegetação na Ilha do superagui, sentido praia - baía.....	75

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1: Pontos de controle para georeferenciar a imagem <i>Landsat</i> na área da APA...	82
ANEXO 2: Amostras de pontos GPS.....	83
ANEXO 3: Processamento da imagem: operações aritméticas e <i>clustering</i> .....	86
ANEXO 4: Modelo Digital do terreno.....	88
ANEXO 5: Estatística e matriz variância-covariância para quatro bandas espectrais das 11 principais assinaturas.....	90
ANEXO 6: Elipses e histogramas.....	92
ANEXO 7: Matriz de separabilidade e contingência para as assinaturas de vegetação.....	94
ANEXO 8: Generalização da informação: análise de vizinhança.....	95
ANEXO 9: Acurácia da fotointerpretação.....	96
ANEXO 10: Alguns pontos de referência gerados aleatoriamente para verificação da confiabilidade da imagem pós-classificada.....	97
ANEXO 11: Coeficiente <i>Kappa</i> .....	98
ANEXO 12: Algoritmo da pós-classificação.....	100
ANEXO 13: Quantificação da cobertura vegetal a partir da imagem pós-classificada.....	101

## RESUMO

Com a execução deste trabalho foi possível apresentar uma proposta de segmentação de diferentes tipos de vegetação por meio do processamento digital de imagens LANDSAT TM 5 em zonas de grande diversidade fitoecológica, como a Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba - Pr, onde se encontra o mais representativo remanescente de Floresta Atlântica do Sul do País. Por meio de digitalização das curvas de nível das cartas topográficas que recobrem a área de estudo, pode-se criar o modelo digital do terreno (MDT). A conversão do modelo digital do terreno em imagem permitiu capturar a complexidade do relevo da região. Desta forma, tornou-se possível a avaliação das diferentes formações da Floresta Ombrófila Densa - Terras Baixas, Submontana, Montana, e das Formações Pioneiras de Influência Marinha, Fluvio-marinha e Fluvial - de acordo com as variações altimétricas. O mapa digital da vegetação foi obtido através da imagem retificada de julho de 1993. Na classificação da imagem levou-se em consideração a combinação dos processos de classificação supervisionada e não supervisionada. Através das amostras de vegetação coletadas em campo por meio de GPS (*Global Position System*) e o processamento digital da imagem, foi possível uma melhor interpretação da imagem. A associação do modelo digital do terreno com o mapa digital da vegetação permitiu minimizar alguns erros de classificação provenientes da similaridade de alguns tipos de vegetação. As matrizes de erros e coeficientes de concordância foram gerados através de pontos de referência coletados em campo e interpretados na imagem. A avaliação quantitativa da acurácia tornou-se parte integrante do processo de classificação para a análise de confiabilidade dos dados gerados.

## ABSTRACT

In this work it was presented a proposal for the use of LANDSAT TM5 imagery for vegetation classification in zones of diverse ecosystems. The Guaraqueçaba-PR Protected Area is part of the most important fragment of the Atlantic Forest in Southern Brazil. The digitalisation of topographic maps contour lines have provided the digital terrain model (DTM) generation. The DTM was converted into image, which has permitted the complex relief interpretation. The different elevation ranges aided the study of the various formation of Dense Ombrophylous Forest (Lowlands, Low Montane, Montane, Pioneer Formation of Marine, Fluvial and Fluvial Marine Influence). The rectified image of July 1993 was classified by a combination of supervised and unsupervised methods. Field data collection with GPS (Global Position System) and image patterns recognition were taken into consideration in the classification process. The association of the DTM imagery to the classified image yields better results. It has lessened misclassification errors from similar vegetation types. Error matrix and agreement coefficients were generated from reference points collected in the field and on the image as well. The quantitative accuracy assessment was included as an integral part of the digital image classification and reliability analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

As imagens de satélites têm sido, nas últimas décadas, uma fonte muito rica de informações sobre a superfície terrestre.

Com o constante desenvolvimento de *hardwares* e *softwares*, o processamento digital permite obter informações mais precisas dos dados registrados na imagem. No entanto, para cada aplicação faz-se mister desenvolver um procedimento metodológico específico.

As imagens do satélite *Landsat* são hoje uma alternativa eficaz na interpretação do espaço geográfico. Seu uso é viabilizado pela facilidade de aquisição, baixo custo, periodicidade e pelas faixas espectrais que as compõem.

Os processos de mapeamento florestal com o uso de imagens de sensoriamento remoto têm dado bons resultados para grandes áreas em todo o mundo. Contudo, existem formas de se aprimorar e adaptar a tecnologia disponível para casos particulares, em carácter local, que otimizam ainda mais o uso das imagens com vistas à preservação ambiental.

O litoral sul brasileiro apresenta em seus ecossistemas naturais um grande grau de alteração devido ao desenvolvimento econômico e a conseqüente ocupação urbana. No entanto, no litoral norte do Estado do Paraná, encontra-se o remanescente mais representativo da Floresta Atlântica, a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guaraqueçaba. Localizada entre dois pólos de industrialização, São Paulo e Paraná, a APA apresenta características ímpares por conservar a maior área contínua de Floresta Atlântica. A baixa densidade populacional, a significativa diversidade biológica e a existência de populações tradicionais de cultura autóctone, tornam essa região merecedora de estudos e esforços para sua efetiva preservação.

Por esta razão, decidiu-se trabalhar na região da APA de Guaraqueçaba, contando com o apoio da Sociedade de Pesquisa a Vida Selvagem e Educação Ambiental (SPVS), do U.S.D.A Forest Service e do Centro de Estudos em Geoprocessamento da Universidade Federal do Paraná, que desenvolveram projeto de edição de mapa de uso do solo com a finalidade de estudo do impacto ecológico do turismo na região. Foram colocadas à disposição, pelos órgãos citados, imagens de sensoriamento remoto *Landsat TM* de julho de 1993 e algumas amostras GPS com tipos de vegetação e uso do solo, coletadas em janeiro de 1994.

De acordo com o Sistema de Classificação da Vegetação Brasileira, proposto pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (1992), e por estudos preexistentes, sabe-se que parte da cobertura vegetal da APA de Guaraqueçaba é composta por Floresta Ombrófila Densa (Formações: Terras Baixas, Submontana e Montana) alterada e primária e por Formações Pioneiras de Influências Marinha (restingas), Fluvio-marinha (mangues) e Fluvial, que compõem o complexo estuário lagunar da APA. O mapeamento dessas unidades pode ser viabilizado graças à tecnologia, hoje disponível, de processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica, sobre as quais este trabalho se embasa.

A área de estudo cobre a região do Parque Nacional do Superagui e o sítio urbano do município de Guaraqueçaba, tendo sido selecionada por apresentar grande diversidade fito-ecológica e possuir fácil acesso para os levantamentos de campo. A redução proposta não altera os procedimentos metodológicos de processamento, classificação e edição das imagens, caso fosse levada em conta toda a área da APA.

## 1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi contribuir para o conhecimento do uso adequado da tecnologia de sensoriamento remoto digital como uma fonte de dados eficaz para o mapeamento da vegetação na APA de Guaraqueçaba ou áreas congêneres.

Assim sendo, seus objetivos específicos foram os seguintes:

- Avaliar as diferentes fontes de dados georeferenciados disponíveis tais como pontos GPS, cartas topográficas e mapas de vegetação para interpretação digital da imagem;
- verificar a resolução das imagens *Landsat TM5* na identificação das diferentes classes de vegetação que compõem a região de estudo;
- combinar procedimentos metodológicos de classificação supervisionada e não supervisionada para a concepção do mapa digital de vegetação;
- verificar a aplicabilidade do modelo digital do terreno no processo de pós-classificação automatizada das imagens;
- verificar a acurácia dos mapas de classificação e pós-classificação a fim de formar um banco de dados geográfico da região.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 ASPECTOS FITOGEOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

#### 2.1.1 Clima

O litoral paranaense, por se situar em latitudes sub-tropicais (aproximadamente entre 25° 15' a 25° 50'S ), apresenta condições climáticas influenciadas por frentes de alta pressão tropicais, por ventos alísios, pelo oceano e pela Serra do Mar.

Até a altitude de 700 m o clima é subtropical mesotérmico (*Af*), segundo a classificação de Koeppen (temperatura média anual: 21,1°C, amplitude térmica média anual 8°C). A umidade proveniente do Atlântico se aquece e se condensa na região continental proporcionando a formação de nevoeiros e brumas na baía (MARTIN, 1992; MAACK 1968).

As chuvas apresentam distribuição uniforme, com predominância no verão. Os valores médios de precipitação anual estão em torno de 2300 a 2500 mm. A umidade relativa do ar em todas as estações varia em média de 82% no inverno a 87% no verão (NAIZOT, 1993; IPARDES, 1995).

#### 2.1.2 Geologia e Geomorfologia

As baías das Laranjeiras e dos Pinheiros formam o complexo estuarino da Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba, composto por ilhas de origem deltática tais

como a das Peças, do Superagui e Rasa. As profundidades das baías são variáveis, sendo que nas áreas mais rasas, interiorizadas (estuarinas), não ultrapassam a cinco metros. Nos canais de circulação d'água próximas ao oceano, as profundidades podem ser superiores a dez metros (BIGARELA, 1970; SOARES, 1990).

O relevo da planície costeira é bastante uniforme, apresentando elevações de baixas altitudes. Na Ilha do Superagui a altitude média é 8 metros acima do nível do mar, com algumas áreas de depressões. Observam-se também morros isolados, extensões da Serra do Mar, tais como o das Pacas (199 m), do Barbado (194 m) e do Canudal (250 m), na parte sul da ilha. A Ilha das Peças é essencialmente plana, com altitude média de 17 metros (IBGE, 1992b; IBGE, 1992c).

Algumas elevações de baixa altitude são encontradas no interior da baía, nas Ilhas do Pinheiro e Gamelas. Na parte continental, destacam-se as serras do Tromomô e da Fazenda, com altitudes não superiores a 670 metros, constituídas de rochas graníticas (IBGE, 1992b; IBGE, 1992c; IPARDES, 1995).

A área lagunar está situada ao longo da costa. Geologicamente, os plainos aluviais (várzeas) de todas as bacias são em geral compostos por sedimentos areno-siltico-argiloso alúvio-coluvionares, provenientes do intemperismo das rochas das serras que circundavam a baía, no período do holoceno. Segundo BIGARELA (1946), as planícies entre a Serra do Mar e o Oceano Atlântico foram constituídas em grande parte pelos aluviões que se fundiram no litoral com as areias trabalhadas pelo mar. Sedimentos areno-argilosos ocorrem próximos à linha de costa em ambiente de águas calmas no interior da baía. Estes sedimentos ainda podem ser compostos por uma considerável quantidade de material orgânico em áreas de remanso (SOARES, 1990; IPARDES, 1995).



Depósitos arenosos ou baixios, predominantemente submersos, ocorrem na entrada do Mar de Ararapira e no Canal do Superagui, que formam os chamados deltas de maré vazante (BIGARELA et al., 1978). Os deltas de maré vazante podem alterar as linhas de costa, como foi observado na Ilha das Peças onde esses depósitos aumentaram sua extensão de praia defronte ao Canal do Superagui (ANGULO, 1984). De acordo com ANTUNES & QUINTAS (1996), com a observação das imagens *Landsat TM* de 1986 e 1993, foi possível constatar a ocorrência de um recuo da linha de costa na Ilha das Peças (Canal do Superagui), devido a migração dos bancos de areia que se encontravam nas proximidades.

Em algumas regiões próximas à costa ocorrem sedimentos arenosos de origem marinha formados no Holoceno. Verifica-se ocorrência de solos Podzóis e Podzóis hidromórficos mal drenados, e pouco evoluídos. Estes são oriundos de acumulações orgânicas típicas de ambiente palustre ( KUNIYOSHI, 1993).

Segundo ANGULO (1988), com o recuo do nível do mar extensas áreas de fundos rasos transformaram-se progressivamente em planície de maré e áreas emersas, como no caso da Ilha Rasa. As planícies de maré geralmente são compostas por diferentes ecossistemas, tais como manguezais, bancos arenosos e areno-argilosos, pântanos de maré e brejos de maré.

Na Ilha do Superagui são observados cordões litorâneos, depósitos arenosos paralelos a preamar, formados no Pleistoceno Superior e no Holoceno, devido ao recuo do mar. A gênese dos cordões litorâneos deve-se a fases regressivas da encosta. Estes cordões possuem uma altitude média de 10 metros em relação ao nível do mar. As maiores altitudes estão associadas a dunas eólicas. A migração do cordão modifica o processo de drenagem e escoamento em direção à praia, criando zonas lagunares, denominadas intercordões (ANGULO, 1988). Nessas depressões rasas, estreitas e alongadas, a drenagem ocorre de

maneira muito lenta, a água é represada, resultando em áreas pantanosas, como as observadas nas Ilhas de Superagui e das Peças (NAIZOT, 1993). Os cordões litorâneos podem ser nitidamente detectados pelas imagens *Landsat TM*, aparecendo na imagem como linhas longitudinais aproximadamente paralelas à costa (ANTUNES & QUINTAS, 1996).

A desembocadura dos Rios Guaraqueçaba e Tagaçaba, de nascentes na serra, formam a enseada do Benito. Caracteriza-se por canais largos marcados pela divisão sucessiva e reagrupamento de ilhas aluviais. Os depósitos aluviais são compostos de material arenoso a saibroso em contínuo movimento, modificando as correntes e a posição dos canais. Estes são em parte submergidos na maré alta. As áreas de inundação dos rios são amplas e muitas misturam-se com a maré, de forma a incrementar as áreas palustres (ANGULO, 1988; SOARES, 1990; IPARDES, 1995). Estes cursos de origem fluvial exclusivamente montanhoso se opõem àqueles das Ilhas das Peças, Rasa e Povaça, que nada mais são que braços de mar que avançam nos pequenos cursos d'água.

### 2.1.3 Vegetação

A vegetação das ilhas das Peças, Superagui, Rasa, Povaça e da planície do Rio Guaraqueçaba é composta essencialmente por Formações Pioneiras em seus três níveis de influência (Marinha, Fluvio-marinha e Fluvial) e pela Floresta Ombrófila Densa (Aluvial, Terras Baixas, Submontana e Montana), segundo classificação proposta por VELOSO et al. (1990) e adotada pelo IBGE (1992a).

As Formações Pioneiras de Influência Fluvio-marinha (manguezais) e de Influência Marinha (restingas) que ocorrem em terrenos instáveis são, na verdade, vegetação de primeira ocupação e de carácter edáfico. Povoam terrenos rejuvenescidos pelas deposição

de areias marinhas nas praias e por aluviões nas desembocaduras dos rios (VELOSO et al., 1990).

A proliferação de manguezais no complexo lagunar de Guaraqueçaba se deve à baixa salinidade associada à temperatura cálida da água, apesar do clima da região ser de transição sub-tropical (MAACK, 1968; IPARDES, 1995). As espécies mais comuns dos manguezais que povoam esta área são: *Rhizophora mangle* (mangue-vermelho), *Avicennia schaueriana* (mangue amarelo) e *Laguncularia racemosa* (mangue-branco).

As espécies que compõem os manguezais podem ser arbustivas e arbóreas, com fisionomias homogêneas e heterogêneas. O porte das espécies varia de 0.3 a 15 metros. Em algumas planícies, justamente quando a água da baía fica represada pelos terraços dos rios, a área salobra é povoada pela gramínea *Spartina alterniflora* - campim-do-mangue (RODERJAN & KUNIYOSHI, 1988; MARTIN, 1992; NAIZOT, 1993).

Nos deltas dos rios e dentro dos estuários, as espécies menos tolerantes ao meio salino, tal como o *Crinum* sp. (ceboleiro), aparecem delimitando o final da área de influência marinha (NAIZOT, 1993).

Segundo LEITE (1994), as restingas possuem aspectos típicos que refletem a gênese das planícies: faixas paralelas de deposição sucessiva de areia, lagoas resultantes do represamento de antigos cursos de água e dunas resultantes da ação do vento. Este aspecto geomorfológico é nitidamente visível na Ilha do Superagui. A seqüência de depressões e elevações intercaladas, sub-paralelas à costa, é marcada por formações vegetais distintas justapostas.

A restinga é formada por comunidades que são diretamente associadas às unidades geomorfológicas e condições locais do meio. Nas zonas de cume dos cordões, onde o solo é arenoso, permeável e pobre em nutrientes, desenvolve-se uma vegetação de aspecto

xeromórfico. Proliferam neste ambiente comunidades herbáceas, gramíneo-lenhosas, arbustivas e subarbustivas (KLEIN, 1984).

Entre os cordões de dunas formam-se áreas encharcadas onde se desenvolve formação pioneira de estrutura herbácea densa, dominada pela *Typha domingensis* (taboa) e em solos um pouco mais evoluídos, espécies higrófilas como *Juncuss* spp. (junco), *Panicum reptans* (grama-branca), *Myrcia multiflora* (cambuí) e *Tabebuia cassinoides* (caxeta) dentre outras (LEITE, 1994). Segundo RODERJAN e KUNIYOSHI (1988), estas espécies ocorrem interiorizadas na região de Floresta Ombrófila Densa e das Formações Pioneiras de Influência Fluvial. Este tipo de vegetação ocorre principalmente no interior da Ilha das Peças.

Na parte central da Ilha do Superagui existe uma vasta zona de antigas lagoas que foram formadas de uma série de cordões de idades diferentes. Nestas áreas, os solos são mais evoluídos e a vegetação apresenta uma fisionomia similar à da Floresta Ombrófila. Esta formação se desenvolve sobre o substrato dos cordões do Pleistoceno e podem ser consideradas com uma transição à Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (RODERJAN & KUNIYOSHI, 1988).

Em área situadas além dos manguezais, de baixas altitudes (inferiores a 30 metros), compostas por solos mais estratificados, observa-se o estabelecimento de vegetação lenhosa mais desenvolvida. Esta floresta de transição foi denominada por KLEIN (1984) de Formação das Terras Baixas. Nestes locais encontram-se espécies como *Tabebuia umbellata* (ipê-da-várzea), *Arescastrum romanzoffianum* (jerivá) e *Huberia semiserrata* (canela do brejo), dentre outras. No interior desta formação já se pode notar epifitismo, representado principalmente por bromeliáceas (KLEIN, 1984; LEITE, 1994).

De acordo com RODERJAN & KUNIYOSHI (1988), os morros isolados no interior da baía, tais como os encontrados na Ilha do Superagui, a vegetação adjacente às rochas é de Floresta Ombrófila Densa.

A Floresta Ombrófila Densa Submontana, segundo o mapa de vegetação editado pelo IPARDES (1989), é observada nas Serras do Tromomô e da Fazenda onde, de acordo com LEITE (1994), VELOSO & GOES (1982) e KLEIN (1984), a fisionomia irregular estende-se entre as altitudes de 30 a 400 metros. RODERJAN & KUNIYOSHI (1988) também delimitam a ocorrência dessa formação entre os intervalos de 40 - 50 metros a 500 - 700 metros de altitude. Raros núcleos de floresta primária, no nível submontano, podem ainda ser encontrados na APA de Guaraqueçaba.

A formação Floresta Ombrófila Densa Montana ocorre entre 500-600 a 1400-1500 metros de altitude, onde a sua estrutura é mantida até próximo ao cume de relevos dissecados. Apresenta uma fisionomia semelhante às formações submontanas nas áreas de menor altitude. Seu porte varia em função de diferenças pedológicas. Em solos delgados ou litólicos, em zonas de grande declividade, observa-se ocorrência de espécies xerófilas de baixo porte (RODERJAN & KUNIYOSHI, 1988; IBGE, 1992a; LEITE, 1994).

Grandes áreas de cobertura vegetal da APA de Guaraqueçaba foram devastadas para dar lugar à pecuária e agricultura sendo posteriormente abandonadas. A vegetação dita secundária surge de forma natural após a devastação, dando lugar primeiro a espécies pioneiras herbáceas e arbustivas, constituindo a capoeirinha. Na fase sucessional seguinte, observa-se uma maior diversidade florística, com espécies arbóreas heliófilas de desenvolvimento rápido, formando associações densas, chamadas de capoeira. Os capoeirões são as fases mais evoluídas da vegetação secundária, que são associações com maior complexidade florística e estrutural (BLANQUET, 1979; VELOSO & GOES, 1982; IBGE,

1992a). O estágio seguinte de sucessão é denominado floresta secundária, que fisionomicamente, em alguns casos, pode ser confundido com a floresta original.

A vegetação secundária, nos seus diferentes níveis de evolução, está diretamente relacionada com as oscilações das atividades agropecuárias da região. Na Ilha do Superagui e nos vales do Rio Guaraqueçaba encontram-se vastas áreas de capoeirinha e capoeira, resultantes de áreas de pastagem e culturas abandonadas (RODERJAN & KUNIYOSHI, 1988; IPARDES, 1995).

## **2.2 SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AO MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO**

### **2.2.1 Sensoriamento Remoto**

O sensoriamento remoto pode ser definido, segundo BARRETT & CURTIS (1992), como a ciência de observação à distância. Isto contrasta com o sensoriamento *in situ*, onde os objetos são medidos e observados no local onde ocorrem. Em outras palavras, o sensoriamento remoto está relacionado à ausência de contacto físico entre o sensor (câmara fotográfica, satélite) e o alvo (objeto).

As imagens provenientes do sensoriamento remoto podem ser processadas digitalmente por modernos *softwares* em potentes *hardwares*, a fim de se obter da imagem o maior número de informações possíveis. JENSEN (1986) denomina processamento digital de imagens o conjunto de procedimentos relativos à manipulação e análise de imagens por meio do computador.

Recentemente, o processamento digital de imagens de sensoriamento remoto está ligado ao reconhecimento de feições e padrões registrados na imagem, através de programas computacionais, geralmente baseados em análise estatística (RICHARDS, 1993).

As imagens de sensoriamento remoto provenientes de satélites artificiais, como *Landsat Multispectral Scanner*, *Thematic Mapper* e *SPOT* permitem, graças ao avanço da informática, mapear e monitorar grandes áreas da superfície terrestre (SABINS, 1987; LAUER, 1994).

Cientistas estão convencidos de que a observação da terra a partir do espaço proporciona a maneira mais viável de monitoramento ambiental de grandes áreas da superfície terrestre. Os dados provenientes de satélites artificiais estão atualmente disponíveis em caráter global. Muitos problemas ambientais têm sido mitigados graças às técnicas de processamento de imagens disponíveis (MACQUILLAN & CURTIS, 1978; ADRIAN, 1984; SABINS, 1987).

Segundo VELOSO & GOES (1982), as imagens de radar associadas a do sistema *Landsat* permitiram à equipe de vegetação do Projeto RADAM-BRASIL desenvolver, na década de 70, técnicas de mapeamento de recursos naturais inéditas no Brasil naquela altura. Imagens de sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizadas, nas últimas décadas, na produção de mapas topográficos notadamente, em regiões de difícil acesso e pouco mapeadas (LAUER, 1994).

As imagens de satélite são também fontes importantes de dados digitais para os Sistemas de Informação Geográfica (GIS), que permitem a manipulação e processamento de uma grande quantidade de informações das mais diversas fontes, com vistas à análise espacial BUDGE & MORAIN (1995) e CAMARA (1996) salientam que as imagens de sensoriamento remoto disponíveis atualmente são a forma rápida de se obter informações

espaciais em formato digital (fitas, *compact disk*, disquetes). Isto permite que estas fontes sejam combinadas a outras informações, de forma a constituir um banco de dados geográfico sobre o espaço em questão. O processamento dessas informações, especialmente referenciadas em meio digital é a base dos sistemas de informação geográfica (VALENZUELA, 1990; BURROUGH, 1991; CAMARA, 1996).

### 2.2.2 Imagens *Landsat TM-5*

Talvez a mais importante fonte de dados digitais em forma de imagens sobre a superfície terrestre pertence ao conjunto de satélites do projeto *Landsat*, programa lançado pela NASA a partir de 1972 para aquisição contínua de dados digitais de sensoriamento remoto (NASA, 1988).

O sistema *Landsat TM-5* foi lançado em 1984, após o *Landsat 4 MSS* (*Multispectral Scanner System*), substituindo o *RBV* (*Return Beam Vidicon*) por um novo instrumento denominado *TM* (*thematic Mapper*). Este sistema foi desenvolvido para atender a demanda de coleta de dados geo-ambientais. O sistema *TM* possui uma resolução espacial de 30 metros (*IFOV*- campo instantâneo de visada), contra os 79 metros do sistema *MSS*. Os melhoramentos espaciais permitem uma melhor análise visual, além de um número maior de bandas (7), o que possibilita uma resolução espectral mais refinada (BARRETT & CURTIS, 1992; RICHARDS, 1993).

O *TM5* é baseado numa série de sensores arranjados para operar em estreitas faixas de comprimento de ondas. Muitos dos trabalhos em sensoriamento remoto estão vinculado à compilação de assinaturas espectrais provenientes de dados multiespectrais e sua interpretação (BARRET & CURTIS, 1992).



Na TABELA 1 pode ser observado as bandas do sistema *TM* e suas aplicações (NASA, 1988; LIGHT, 1990 ).

TABELA 1- Bandas espectrais do *Landsat-TM5*

Bandas	Comprimento de Onda $\mu\text{m}$	Aplicações
1	0.45-0.52 - Azul	Mapeamento de corpos d'água; diferenciação de água e solo
2	0.52-0.60 - Verde	Reflexão de vegetação sadia
3	0.63-0.69 - Vermelho	Absorção de clorofila; diferenciação de espécies vegetais
4	0.76-0.90 - Infravermelho próximo	Levantamentos de biomassa
5	1.55-1.75 - Infravermelho Curto	Detecção de umidade da vegetação
6	10.4-11.7 - Termal	Umidade da vegetação; geologia
7	2.08-2.35 - Infravermelho Curto	Umidade da vegetação; solos e geologia

Cada *pixel* ou célula (*picture element*) das bandas 1,2,3,4,5 e 7 possui 30 x 30 metros. Cada cena recobre uma área de 185 x 185 quilômetros, com uma periodicidade de 16 dias (NASA, 1988; EOSAT, 1990).

BARRET (1992) compara o uso de imagens *Landsat TM* com o satélite francês *Spot (Système Probatoire de l'Observation de la Terre)* lançado em 1986. O sistema *Spot* leva vantagem sobre o *Landsat* no que diz respeito à resolução espacial de 20 metros (bandas 1,2 e 3) e 10 metros (banda pancromática), o que pode permitir mapas com precisão cartográfica superior. No entanto, por possuir menos faixas espectrais que o sistema *Landsat*, as imagens *Spot* podem não ser suficientes no que se refere ao mapeamento temático de vegetação em zonas de grande diversidade. Nestes casos, uma resolução espectral é tão ou

mais importante que uma resolução espacial (HAAK et al., 1993; USDA, 1993, McCLOY, 1995).

### 2.2.3 Refletância da cobertura vegetal

BARRET & CURTIS (1992), USDA (1994), ADAMS et al. (1993), McCLOY (1995) observaram que a refletância da luz sobre uma superfície vegetada é determinada por vários fatores que incluem geometria da folha, morfologia, fisiologia da planta, tipo do solo, ângulo solar e condições climáticas.

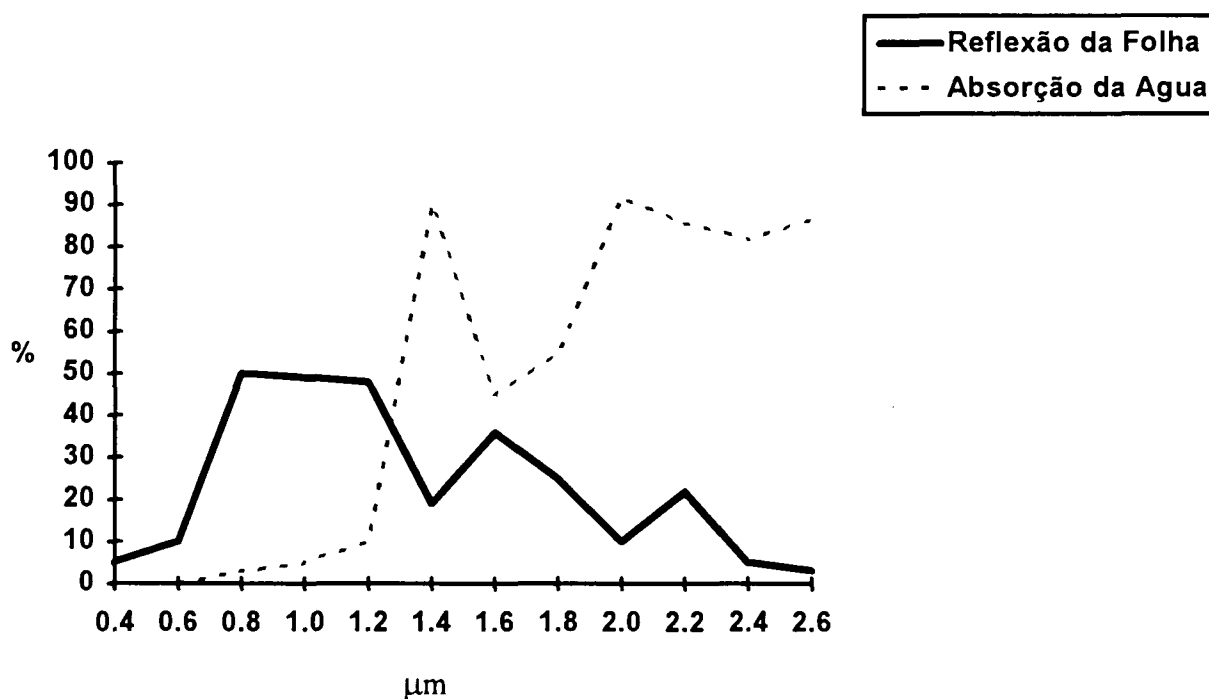
Freqüentemente diferentes partes do espectro são afetadas de forma distinta pelas variações da composição e estrutura do vegetal. O comprimento de onda de  $0.5$  a  $0.75$   $\mu\text{m}$  é caracterizado por uma absorção pelos pigmentos que consistem principalmente de clorofila a e b, carotenos e xantofila. A faixa de  $0.75$ - $1.35$   $\mu\text{m}$  é uma região de reflexão e baixa absorção, na qual a estrutura interna da planta possui uma grande influência. Da mesma forma, a faixa de  $1.35$  a  $2.5$   $\mu\text{m}$  é influenciada pela concentração de água no tecido da planta. Em geral as variações da quantidade de água na planta podem ser detectadas na banda infravermelha próxima (FIGURA 1). Por outro lado, uma desidratação das folhas aumenta a reflexão sobre todas as faixas do espectro (McCLOY, 1995). A senilidade das folhas, no entanto, leva a uma diminuição da reflexão na banda do infravermelho. O mesmo pode ocorrer no caso de doenças ou variação nas condições funcionais da planta (SILVA, 1988; LIGHT, 1990).

No sistema *Landsat* a curva da reflexão espectral para vegetação sadia apresenta picos e vales. A reflexão visível nas bandas 1,2 e 3 é originada dos pigmentos das plantas. A clorofila absorve energia nos comprimentos de onda de  $0.45$ - $0.67$   $\mu\text{m}$ . A reflexão na

banda 4, infravermelho próximo, é determinada pela estrutura celular da planta. No infravermelho médio, bandas 5 e 7, a reflexão é devida ao conteúdo de água na planta. A reflexão espectral da planta varia durante o seu ciclo de crescimento. A reflectância da cobertura vegetal depende da profundidade, densidade, idade e diversidade (BARRET & CURTIS, 1986; SILVA, 1988; LIGHT, 1990; EOSAT, 1990).

McCLOY (1995) comenta que a alta reflexão da vegetação ocorre na faixa de 0,7-1,3  $\mu\text{m}$  (Infravermelho próximo). Os valores da reflexão da vegetação nessa faixa espectral pode ser influenciada pela refletância do solo.

FIGURA 1-Reflexão das folhas, observando-se no plano do infravermelho (0.75-1.3  $\mu\text{m}$ ) a baixa absorção da água (Fonte:BARRET & CURTIS 1992)



#### 2.2.4 Processamento Digital

GONZALEZ & WINTZ (1977) descrevem o objetivo do processamento digital de imagem como sendo um conjunto de procedimentos que melhoram a informação

pictorial para interpretação do olho humano, bem como para o reconhecimento dos dados de uma cena pelo computador.

Uma imagem está relacionada a uma função bi-dimensional de intensidade da luz  $f(x,y)$ , onde  $x$  e  $y$  são coordenadas espaciais. Existe ainda uma outra variável  $z$  relacionada a variação tons de cinza da imagem. O valor de  $z$  é denominado, *digital number- DN* (GONZALEZ, 1977; SABINS, 1987).

A imagem digital pode ser representada por uma matriz de linhas  $x$ , colunas  $y$  e  $z$  para os  $DN$ . Desta forma, uma imagem digital é uma função discreta  $f(x,y)$ , definida por uma grade regular de  $m$  linhas e  $n$  colunas, representada por:

$f(i,j)$ , onde :  $0 < i < m-1$  e  $0 < j < n-1$ ;

para  $f$  variando de  $[0, k-1]$ ;

onde,  $k$  = níveis de cinza ( $DN$ ).

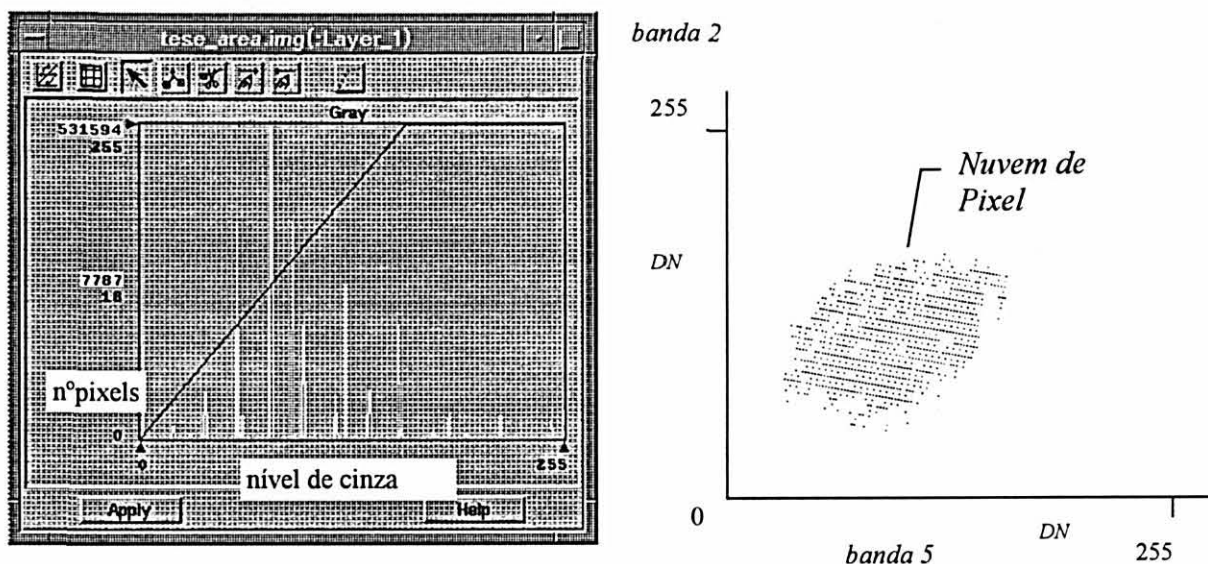
Cada elemento dessa matriz  $(i, j)$  é determinado por elementos da imagem ou célula, denominada *pixel*.

No caso da imagem *Landsat TM* de uma cena inteira ( $185 \text{ km} \times 185 \text{ km}$ ), numa única banda possui :  $m = 6117$ ,  $n = 6167$  para  $k = 256$  (NASA, 1988; CURRAN, 1995).

A variação de tons de cinza de uma imagem ( $DN$ ) pode ser representada por histogramas de frequência, que é a maneira mais comum de se observar a distribuição dos níveis de cinza de uma imagem (FIGURA 2). O histograma permite obter informação sobre quantos *pixels* na imagem possuem determinado valor de cinza (que numa imagem de 8 bits varia de 0 a 255). Os dados discretos representados nos histogramas de frequências são de fundamental importância no que concerne ao aumento de contraste e realce de uma imagem (RICHARDS, 1994; ERDAS, 1994).

O grande número de diferentes freqüências de uma imagem dificulta muitas vezes a interpretação das feições. Para minimizar este problema, utilizam-se técnicas de filtragem espacial da freqüência. As operações matemáticas efetuadas na imagem com a finalidade de realçar padrões são realizadas por dois processos distintos; um que opera no domínio espacial da imagem, convolução cúbica (janelas  $m \times n$ ), e outro que opera no domínio da freqüência baseado nas transformadas de Fourier (GONZALEZ & WINTZ, 1977; CRÓSTA, 1993; LAUER, 1994).

FIGURA 2- Histograma de freqüência da banda 4 (infra -vermelho) e histograma entre duas bandas quaisquer (*scattergrama*).



Transformações espectrais permitem uma redução sistemática de dados altamente correlacionados. A correlação entre bandas podem ser avaliadas através de *scattergramas*, histogramas bidimensionais que apresentam as variações de *DNs* dos “*pixels*” de uma banda em relação a uma outra banda (FIGURA 2). Quanto menor a distribuição das nuvens de *pixels* no *scattergrama*, maior será a correlação entre as bandas (SABINS, 1987; JANSEN, 1986). Imagens de diferentes datas, compostas de várias bandas, podem ser

combinadas e a informação concentrada num menor número de imagens e bandas (pouco correlacionadas entre si), evitando que dados supérfluos sejam armazenados. As bandas *TM* 1, 2 e 3 são altamente correlacionadas e seu processamento envolve certo grau de redundância. Por outro lado, as bandas *TM* 4, 5 e 7 possuem uma correlação menor ( FUNG & LEDREW, 1987). A Transformação de Componentes Principais é uma poderosa ferramenta na manipulação de dados multiespectrais, pois permite que a primeira componente contenha as informações comuns a todas as bandas e as demais componentes irão conter informações espectrais cada vez mais particularizadas (GONZALEZ & WINTZ, 1977; CRÓSTA, 1993; RICHARDS, 1994; LAUER, 1994).

Freqüentemente, nas imagens de sensoriamento remoto, existem ruídos ou imperfeições. Esses podem ser minimizados através de processos de filtragem. Um exemplo comum, devido a falha de detecção do satélite, é o *line drop-out*, onde uma ou mais linhas da imagem não possuem valores, aparecendo na imagem como uma faixa preta ou marrom. Em geral este problema é solucionado por meio de um filtro que atribui a esses *pixels*, sem nível de cinza apropriado, valores das médias dos *pixels* vizinhos (JANSEN, 1986; SABINS, 1987).

As similaridades espectrais podem ser realçadas, segundo SABINS (1987) e RICHARDS (1993), através de operações matemáticas nas imagens. No sistema *Landsat* a adição e multiplicação de bandas, bem como, subtração e divisão realçam diferenças espectrais de feições. A identificação de diferentes tipos de coberturas vegetais podem ser realçadas por meio da subtração das bandas do infravermelho. Por meio destas operações, índices de vegetação podem ser obtidos, facilitando o reconhecimento de padrões de vegetação na imagem. Para tanto, um maior o número de bandas é necessário (CRÓSTA, 1993).

Segundo JANSEN (1986), a vegetação em áreas pantanosas está associada à umidade e a razão banda4/banda2 do *TM5* permite delinear estas áreas. Da mesma forma, a

razão banda4/banda3 auxilia na informação das condições da vegetação e das copas das árvores. A subtração entre banda4 e banda3 é útil na identificação de pequenas diferenças espectrais de alguns tipos de vegetação.

### 2.2.5 Classificação da vegetação

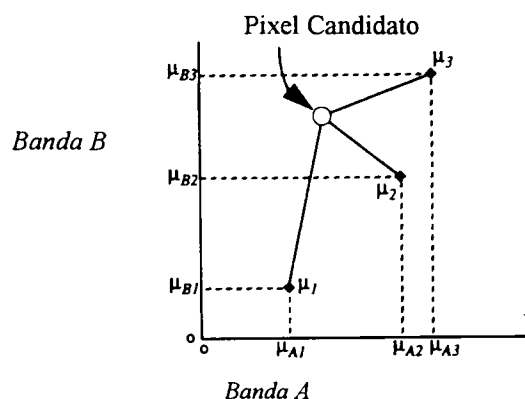
CRÓSTA (1993) define classificação das imagens de sensoriamento remoto como associar a cada *pixel* uma informação qualitativa (atributo). Os valores de cada nível de cinza (*DN*) para cada *pixel* pode ser associado à refletância dos materiais que o compõem no terreno. Desta forma, cada *pixel* ou um conjunto de *pixels*, estará associado a uma classe ou tema. Para classificar tipos de vegetação numa imagem multiespectral deve-se coletar amostras representativas de *pixels*, nas quais os níveis de cinza variem dentro de um intervalo pré-determinado. Este intervalo de variação deve-se ao fato da superfície não ser exatamente homogênea (NOVO, 1993; McCLOY, 1995). As amostras podem ser avaliadas por meio de indicadores estatísticos de média, desvio padrão e variância. A amostragem é sempre comparada com os dados coletados no campo ou com informações preexistentes (mapas, fotografias aéreas).

Vários autores definem como áreas de treinamento a identificação e amostragem na imagem de um conjunto de *pixels* que representam a determinada feição, classe ou categoria. Estas irão compor um arquivo de assinaturas que servirá de base à classificação (JANSEN, 1986; SABINS, 1987; RICHARDS, 1993; McCLOY, 1995).

Todo o procedimento de seleção de áreas de treinamento efetuado pelo usuário e a comparação com estudos prévios denomina-se classificação supervisionada (DRURY, 1989; BARRET & CURTIS, 1992; LAUER, 1994).

O procedimento estatístico de classificação pelo método da máxima probabilidade é baseado na distância espectral mínima, ou seja, determina a distância espectral entre o *pixel* candidato (a classificar) e o valor médio de todas as assinaturas. O *pixel* é, então, atribuído à classe para qual a distância é mínima. Observa-se na FIGURA 3 que o *pixel* candidato foi classificado na classe de menor distância espectral (ERDAS, 1991; RICHARDS, 1993; LAUER, 1994).

FIGURA 3 - Classificação pelo método da mínima distância, onde  $\mu$  é a média dos níveis de cinza para cada banda (Fonte: ERDAS, 1994).



Segundo pesquisas de FULLER, GROOM, JONES (1994) e ZHUANG, ENGEL & XIONG (1995), dos vários algoritmos de classificação de dados de sensoriamento remoto (paralelepípedo, mínima distância e máxima probabilidade), o método da máxima probabilidade ou verossimilhança é o que apresenta melhores resultados. Este considera a ponderação das distâncias médias espectrais de um *pixel* em relação às várias amostras coletadas considerando parâmetros estatísticos (matriz variância-covariância) para classificá-lo.



Outra forma de classificação a não supervisionada requer do usuário apenas alguns parâmetros tais como número de classes e interações. O algoritmo permite agrupar *pixels* com características espectrais similares. É necessário posteriormente associar classes aos agrupamentos, procedimento que é feito de maneira totalmente automatizada. O método mais utilizado é o *Self-Organizing Data Analysis Technique* ou *Isodata* (agrupamento). O programa permite reunir de maneira seqüencial *pixels*, através de uma mínima distância espectral. Assim sendo, cada *pixel* é associado a determinado agrupamento ou *cluster* (CHUVIECO, 1988; ERDAS, 1993; BAUER, 1994).

BAUER et al. (1994) salientam que as técnicas de classificação supervisionada e não supervisionada podem ser processadas conjuntamente. Os agrupamentos de *pixels* podem ser úteis na seleção de amostras mais homogêneas da vegetação. Isto permite ao usuário obter amostras (assinaturas) de dispersão mais baixas e conseqüentemente maior separabilidade entre as diferentes feições da imagem.

Para mapeamento de vegetação, muitas amostras com suas coordenadas de terreno (UTM ou latitude e longitude) são coletadas no campo com auxílio de *GPS* (*Global Position System*). O *GPS* permite determinar pontos, linhas ou polígonos georeferenciados no campo por meio de rastreamento de satélites artificiais. Assim sendo, para este tipo de amostragem a imagem, antes de mais nada, deve possuir propriedades de escala e sistema de coordenadas do terreno, ao invés de linhas e colunas (ANTUNES & MULLER, 1994; PYE, ANTUNES & MULLER, 1995).

A correção geométrica da imagem ou retificação permite a transformação de coordenadas da imagem (x, y), linhas e colunas em coordenadas de mapa. É fundamental obter pontos de controle, com coordenadas conhecidas, que sejam facilmente reconhecíveis na imagem. O modelo de correção geométrica mais simples é o modelo polinomial, que corrige

toda a imagem através dos pontos de controle bem distribuídos por toda a área recoberta. O ajuste geométrico exige que sejam recalculados os novos valores de níveis de cinza da imagem retificada. Esta reamostragem pode ser feita através de diversos métodos de interpolação (vizinho próximo, interpolação bilinear e convolução cúbica), disponíveis nos mais diversos *softwares* de sensoriamento remoto (SABINS, 1987; CRÓSTA, 1993; NOVO, 1993 ).

RUTCHEY & VILCHEK (1994) comentam que a correção geométrica da imagem pode alterar os valores dos DN's. Neste caso, a imagem retificada pode possuir um brilho diferente da imagem original. No método da re-amostragem por convolução cúbica, os valores dos DN's da imagem retificada são oriundos da interpolação dos DN's 16 *pixels* vizinhos da imagem original (CURRAN, 1995). Este procedimento funciona como uma espécie de filtragem (janela 4x4) e muitas vezes, melhora o aspecto da imagem retificada em relação a original (não retificada), através da eliminação de ruídos. Não obstante, pelo método de retificação do vizinho mais próximo não altera o valor dos níveis de cinza dos *pixels* re-amostrados, uma vez que os valores dos DN's da imagem retificada são determinados pelo valor do *pixel* mais próximo na imagem original. Este método é geralmente recomendado quando a classificação da imagem é baseada em dados georeferenciados (JANSEN, 1986; CRÓSTA, 1993; ERDAS, 1994, CURRAN, 1995).

As diferentes formações vegetais estão diretamente relacionadas com a variação das altitudes (IBGE, 1992a). Desta forma, o conhecimento da altimetria da região pode colaborar para se obter uma classificação mais precisa.

O resultado final do processo de classificação é um mapa temático de vegetação. Segundo CONGALTON (1991), a classificação só estará completa após o processo de avaliação da acurácia do mapa. A qualidade da informação depende da análise quantitativa da matriz de erros e do coeficiente de concordância *kappa* (COHEN, 1960;

ROSENFELD & FITZPATRIK-LINS, 1986). O processo está vinculado à seleção no campo de pontos de referência (amostras) de categorias conhecidas e sua comparação com as classes da imagem classificada. A análise estatística leva em consideração os fatores de influência da acurácia do dado espacial tais como procedimentos de amostragem, tamanho das amostras e correlação (MEAD, 1982; STORY & CONGALTON, 1986).

Somente após a validação dos dados, estes poderão ser utilizados na composição do banco de dados sobre a região em questão. Na realidade, os dados provenientes do sensoriamento remoto são geralmente associados a outros dados espaciais que compõem o Sistema de Informações Geográficas (BURROUGH, 1991; CONGALTON & GREEN, 1993; CAMARA, 1995).

### 3 MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Área de Proteção Ambiental, ou APA de Guaraqueçaba, abrange o maior complexo de cobertura vegetal nativa do Sul do Brasil. Situada na porção norte do litoral do Estado do Paraná, a região da APA possui uma área aproximada de 340.000 ha, compreendendo a porção continental serrana, complexo estuarino lagunar, planícies e ilhas (FIGURA 4).

Criada segundo Decreto Federal nº 90.883 de novembro de 1985, a Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba está subdividida nas seguintes unidades de conservação: a Estação Ecológica de Guaraqueçaba, a Área de Grande Interesse Ecológico das Ilhas do Pinheiro e do Pinheirinho e o Parque Nacional do Superagui (SPVS, 1992; IPARDES, 1994).

Dentro da APA de Guaraqueçaba foi delimitada, para este estudo, uma área de aproximadamente 121.131 ha e 143 km de perímetro, incluindo o Parque Nacional do Superagui, as ilhas do Pinheiro, do Pinheirinho, Rasa e Pavoça, a porção continental que abrange a sede do município de Guaraqueçaba e as serras do Tromomô e da Fazenda (FIGURA 4).

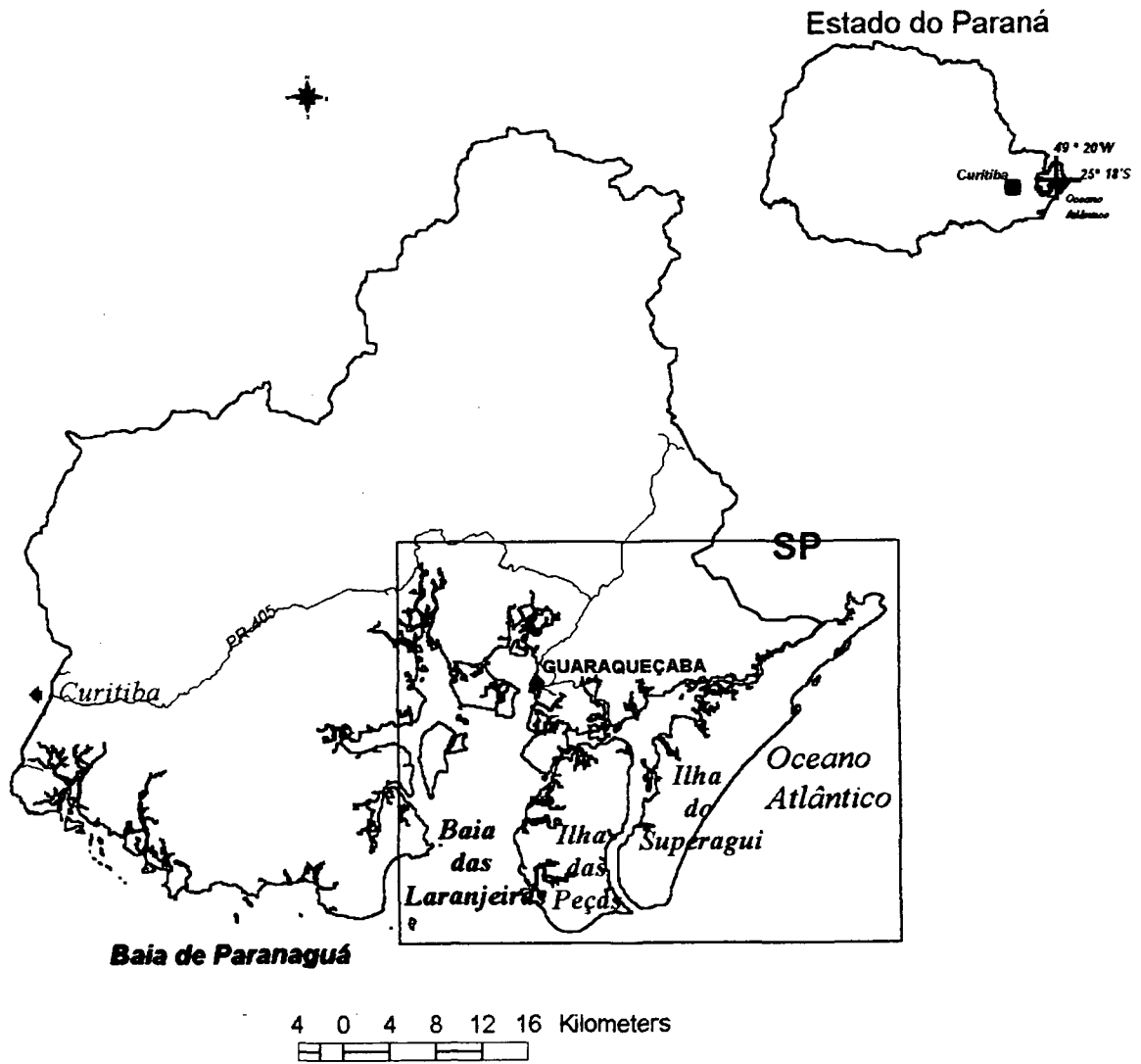
O critério de seleção levou em conta a grande diversidade fitoecológica da região, o acesso para coleta dos dados e por ser a mesma bem representativa da Área de Proteção Ambiental.

A área de estudo é delimitada pelas coordenadas geográficas e UTM (Sistema Transverso de Mercator) conforme TABELA 2.

TABELA 2 - Coordenadas UTM e geográficas da área de estudo.

Limite	E (metros)	N (metros)	Latitude	Longitude
Inferior Esquerdo	751.816,6	7.178.114,5	25°29'01"	48°00'36"
Superior Direito	800.610,0	7.200.998,6	25°12'19"	48°30'03"

FIGURA 4- Localização da área de estudo



## 3.2 COLETA DOS DADOS

### 3.2.1 Formato digital dos dados

Os dados coletados na forma digital ou digitalizados para realização deste trabalho foram de dois formatos básicos:

#### a) *raster*

Como já foi abordado, as localizações de *pixel* na imagem são feitas através de um sistema bidimensional de linhas e colunas, expressas em coordenadas  $x$  e  $y$ . A imagem organizada desta forma, num reticulado de linhas e colunas, é denominada dado *raster* geralmente descrito por sua resolução, ou seja, área no terreno que corresponde a um *pixel* na imagem. Nos dados provenientes de sensoriamento remoto, três tipos distintos de resoluções foram levados em conta:

**Resolução Espectral:** refere-se a um intervalo específico de comprimento de onda do espectro-eletromagnético armazenado pelo sensor;

**Resolução Espacial:** refere-se à medição do menor objeto que pode ser registrado pelo sensor, ou a área que representa cada *pixel* no terreno.

**Resolução Radiométrica:** refere-se ao número possível de níveis de cinza usados para expressar os dados de cada banda da imagem. Em uma imagem com resolução de 8 bits, geralmente os valores de nível de cinza variam de 0 a 255.

#### b) *vetorial*

O dado vetorial é composto basicamente por pontos, linhas e polígonos expressos através de suas coordenadas plano-retangulares ou cartesianas. A maioria dos dados

provenientes de digitalização estão na forma vetorial. Em geral, os dados vetoriais apresentam relações topológicas de continuidade, adjacência e conectividade.

### 3.2.2 Imagens

Foram adquiridas pelo CIEG (Centro Integrado de Estudos em Geoprocessamento) duas cenas completas, cobrindo uma área que se estende de Pontal do Sul-PR a Iguape-SP. No entanto, selecionou-se apenas a cena de órbita ponto 220.78 de 15 de julho de 1993, sem nuvens, que cobre 99% da área da APA, ficando fora dessa imagem apenas a Vila de Ararapira, porção norte da Ilha do Superagui.

As imagens *Landsat* utilizadas possuem as seguintes características:

resolução espacial: 30 x 30 metros;

resolução radiométrica: 8 bits;

bandas: 2, 3, 4, 5 e 7

área de abrangência: 185 x 185 km.

As bandas 3, 4 e 5 concentraram a maior parte da informação necessária para discriminar a Floresta Ombrófila Densa e as Formações Pioneiras (LIGHT, 1990; FULLER, GROOM & JONES, 1994 ; ALVES et al., 1996). Através de estudos preliminares verificou-se que a combinação das bandas 2, 3, 4, 5 permitiram uma melhor interpretação visual de áreas de mangues, restingas, áreas devastadas, baixios e floresta (PYE, ANTUNES & MULLER, 1995).

A área de interesse (FIGURA 5 ) foi recortada da imagem original e possui 1699 linhas e 1257 colunas, com 4 bandas, e ocupou um espaço em disco de 8,5 MB (megabites). Isto permitiu agilizar o processamento, além de evitar o bloqueio do programa durante a execução de volume de dados maiores.

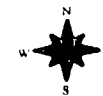
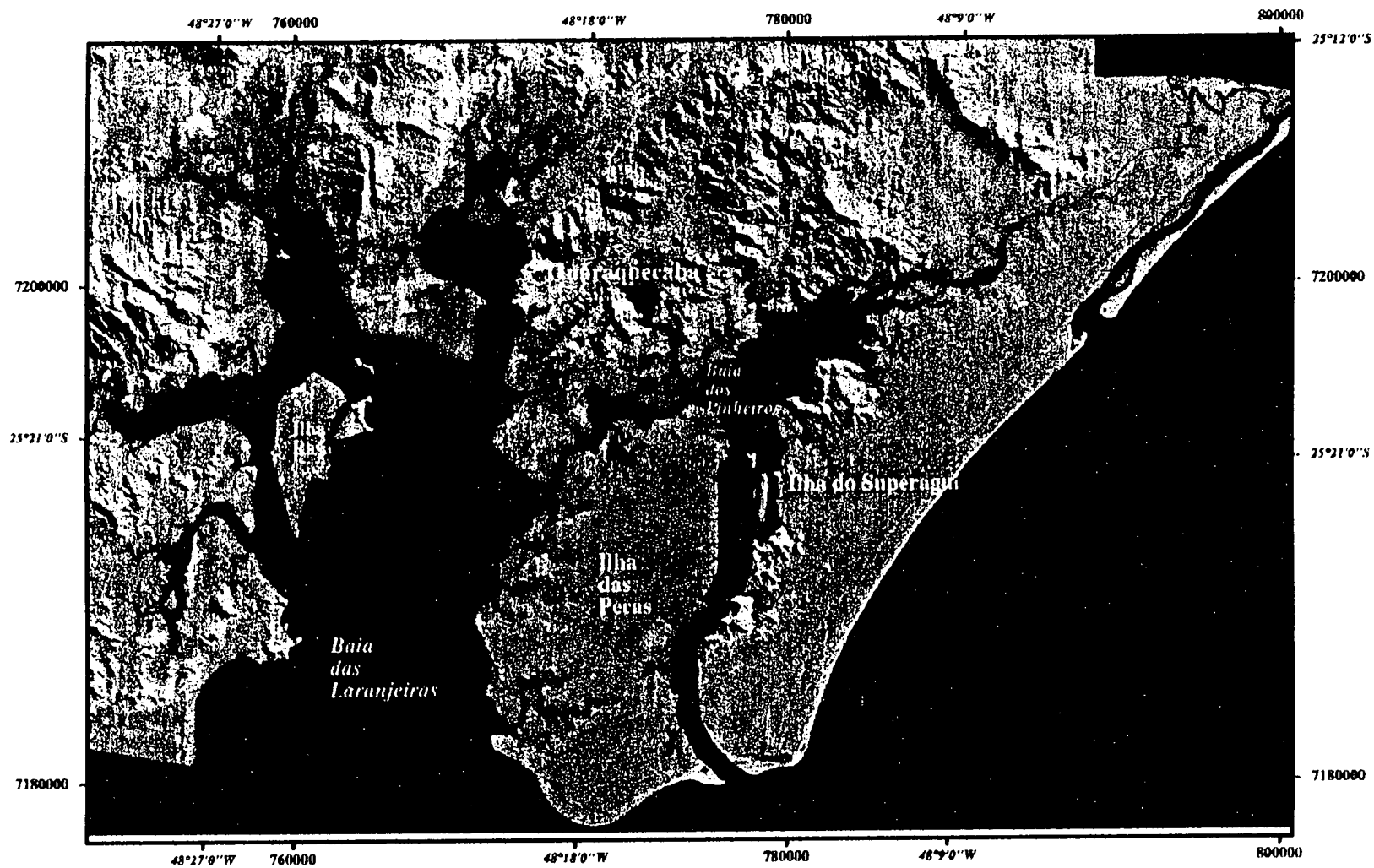


FIGURA 5- Composição colorida da área de estudo. Combinação bandas: 5-4-3



Escala aproximada 1:260.000. Projeção UTM, Sad 69



### 3.2.3 Pontos GPS (Global Position System)

Neste trabalho foram utilizados pontos GPS levantados em janeiro de 1994 pelo U.S. Forest Service (PYE, HENSHE & EVANS, 1994). Utilizaram-se os pontos de controle (GCP- *ground control points*) e alguns pontos com atributos de cobertura vegetal e uso do solo (ANEXO 1).

O levantamento GPS teve uma correção diferencial e foi usado o programa *PC trimble PFFINDER* (Trimble Navigation, Ltda). A precisão do levantamento foi de aproximadamente 5 metros o que é perfeitamente compatível com a resolução de 30 x 30 metros das imagens *Landsat*, e a escala do levantamento de 1:120.000 (PYE, HENSHE & EVANS, 1994; ANTUNES & MULLER, 1994).

### 3.2.4 Outras fontes

Muitos dados foram coletados em diversas visitas feitas à área de estudo. A fisionomia de algumas classes de vegetação como mangue, restinga, áreas com vegetação alterada e cordões, foi registrada em fotografias terrestres coloridas tomadas em câmara comum e referenciadas na imagem.

O Mapa Fitogeográfico da área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba, elaborado por RODERJAN & KUNIYOSHI (1988) e reeditado pelo IPARDES (1995) foi importante para a caracterização da área.

Utilizou-se também um jogo de cartas topográficas da região em escala 1: 50.000 IBGE (1992b) & IBGE (1992c) a fim de se extrair dados altimétricos.

As cartas temáticas de geomorfologia e solos da APA, lançadas pelo IPARDES (1995), serviram como fonte complementar de dados.

### 3.3 EQUIPAMENTOS E PROGRAMAS

Os equipamentos utilizados foram os seguintes: servidor HP, estação de trabalho, modelo 750, com 65 megabites de memória *RAM* e 3.6 GB (gigabites) de memória em disco rígido; terminal com 8 MB de *ram* e 200 MB de disco conectado em rede com a servidora; PC 486, com 12 MB de *ram* e 500 MB de disco rígido conectado em rede com a servidora; leitora de fita *streamer* de 250 MB; *plotter* HP *design jet* 650.

Os programas utilizados em ambiente de geoprocessamento, de acordo com o formato dos dados digitais, foram os seguintes:

- a) *ERDAS, Imagine versão 8.1* concebido em ambiente de estações de trabalho principalmente para processar dados da forma *raster (pixels)* - incorpora funções de processamento digital de imagens e SIG (ERDAS, 1994);
- b) *ARC-INFO, versão 7.02* para estações de trabalho *software* de geoprocessamento ou SIG - acumula funções de capturação, edição e processamento de dados vetoriais, podendo também, dependendo do módulo, trabalhar com dados *raster* (ESRI, 1994);
- c) *ARC-VIEW II* - permite em ambiente PC acesso a dados provenientes do *ERDAS e ARC-INFO* para composição de mapas digitais (ESRI, 1995).

O programa responsável por gerenciar os recursos de *hardware* do computador, sob qual todos os programas são executados- denominado sistema operacional - foi *UNIX* para as Estações de Trabalho e *DOS 6.0* para ambiente PC.

### 3.4 PROCESSAMENTO DA IMAGEM

#### 3.4.1 Correção de Ruídos

A correção de ruídos, comuns nas imagens *Landsat*, foi fundamental para iniciar o processo de interpretação visual da imagem e evitar que dados incorretos fossem processados.

A banda 2, na altura das Ilhas das Peças, possuía uma linha de *pixels* com valores anômalos, muitos escuros, próximos ao valor zero, denominados *drop-out*. Esta imperfeição estendeu-se longitudinalmente aglutinando um conjunto de 50 *pixels*.

Através de um comando no *ERDAS PC 7.5 VGA* foi possível corrigir este ruído por meio de um filtro de Mediana. O *pixel* com ruído foi substituído pela mediana em relação aos níveis de cinza (DN) dos *pixels* vizinhos. Desta forma, a faixa escura que compunha a imagem foi substituída por uma linha de *pixels* com valor de cinza muito próximo ao que deveria ser registrado pelo satélite, minimizando assim o problema.

#### 3.4.2 Retificação

Para que a imagem digital tenha propriedades cartográficas, é necessário que a mesma seja corrigida segundo um sistema de coordenadas pré-determinadas. O processo que possibilita que a imagem possua escala e sistema de projeção cartográfica, denomina-se retificação ou correção geométrica.

Na região da APA de Guaraqueçaba, a correção geométrica foi efetuada através de pontos de controle coletados em campo por GPS.

Os pontos de controle conforme ANEXO 1, foram referenciados na projeção *UTM*

(Projeção Universal Transversa de Mercator), fuso 22, elipsoide SAD-69.

Segundo PYE, HENSHE & EVANS (1994) e ANTUNES & MULLER (1994), os pontos de controle foram escolhidos de forma a serem facilmente registrados na imagem, geralmente intersecções de estradas, pontes e cantos de praça. O *pixel* da imagem com coordenadas de linha e coluna ( $x, y$ ) passaram a assumir os valores de coordenadas do terreno (UTM). Criou-se, então, o seguinte sistema de equações:

$$x_0 = b_1 + b_2x_i + b_3y_i$$

$$y_0 = a_1 + a_2x_i + a_3y_i,$$

onde,  $x_i$  e  $y_i$  são as coordenadas do terreno -GPS;

$x_0$  e  $y_0$  são as coordenadas retificadas dos *pixels*;

$b_1, b_2, b_3, a_1, a_2$  e  $a_3$  são os coeficientes de transformação.

Esta transformação denominada afim corrigiu através dos coeficientes as distorções de escala, deslocamento e rotação existentes entre a imagem e o modelo real ( DRUMMOND, 1987).

Para cada ponto foram obtidas duas equações. Portanto, para os dez pontos de controle havia 20 equações e 6 incógnitas de transformação. Este sistema abundante de equações possibilitou uma análise de erros, podendo assim rejeitar os pontos mal registrados na imagem. Pelo método dos mínimos quadrados, avaliou-se a distância entre a localização dos pontos de controle e a localização retificada dos mesmos. Em outras palavras, foi a diferença entre a real localização dos pontos de controle e das novas localizações advindas da transformação. O erro foi expresso por:

$$Erro = \sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2}$$

onde:  $x_i, y_i$ , pontos de controle;

$x_r, y_r$  coordenadas transformadas.

O erro foi expresso em sistema de coordenadas da imagem e cada ponto possui sua contribuição ao erro total.

Segundo ANTUNES & MULLER (1994), a precisão da imagem retificada da APA foi 0,8897 *pixel* e o método de reamostragem adotado foi o de **convolução cúbica**. De acordo com CROSTA (1992) a margem de erro aceitável na retificação da imagem é em torno de 1 *pixel*. Através de estudos realizados por ANTUNES & MULLER (1994) verificou-se que os pontos controle GPS apresentaram uma melhor precisão do que pontos de controle retirados de cartas topográficas 1: 50.000 do IBGE, onde o erro posicional médio (precisão) é em torno 25,4 metros (MONTEGOMERY & SCHUCH, 1993).

A imagem retificada da área da APA serviu como referência para a correção geométrica da imagem da área de estudo. Foram selecionados 20 pontos de controle localizáveis em ambas imagens. O erro cometido na transformação (Método dos Mínimos Quadrados) foi em X de 0,306793, em Y de 0,230592 e o erro total de 0,38379 *pixel*.

O erro acumulado das transformações afins, acima comentadas, foi compatível com a precisão média de 60 metros referente a escala 1:120.000, adotada nesse trabalho (MONTEGOMERY & SCHUCH, 1993).

A reamostragem foi efetuada pelo método do **vizinho mais próximo**. Este foi escolhido, dentre outros métodos (**interpolação bilinear e convolução cúbica**), por transferir os dados originais sem alterar os *DN*, permitindo que a retificação fosse feita antes da classificação (RICHARDS, 1993; LAUER, 1994). A imagem retificada com a manutenção dos *DNs* originais serviu de base para a classificação supervisionada, através das amostras de vegetação levantadas em campo por GPS (ANEXO 2).

Selecionou-se uma amostra de 10 *pixels* identificados nas imagens retificada e não retificada da área de estudo. Foram comparados, então, os valores do nível de cinza desses

*pixels* em ambas as imagens e verificou-se que não houve qualquer alteração destes valores (TABELA 3).

TABELA 3- Valores de Níveis de Cinza (*DN*) antes e depois da retificação.

Banda	Imagem retificada (VizinhoPróximo)Valores DN	Imagem não-retificada Valores DN
2	30 22 17 15 17 15 16 12 13 17	30 22 17 15 17 15 16 12 13 17
3	37 26 18 15 15 18 17 12 13 19	37 26 18 15 15 18 17 12 13 19
4	40 40 38 42 41 28 28 30 14 09	40 40 38 42 41 28 28 30 14 09
5	48 46 32 28 29 39 26 06 05 04	48 46 32 28 29 39 26 06 05 04

### 3.4.3 Operações aritméticas

A fim de facilitar o processo de interpretação visual da imagem lançou-se mão de algumas operações matemáticas na imagem que pudessem destacar algumas formações da Floresta Ombrófila Densa. Como já foi citado no capítulo anterior, geralmente a subtração e divisão de bandas são úteis para realçar diferenças espectrais. Para tanto, dividiu-se a banda 4 (infravermelho) pela banda 3 (vermelho) e subtraiu-se a banda 4 da banda 3 (CRÓSTRA, 1993; BAUER et al., 1994).

Para que as imagens resultantes das operações banda 4 / banda 3 e banda 4 - banda 3 representassem a diferença de refletância entre as bandas 3 e 4, foi necessário minimizar o efeito do espalhamento atmosférico presente na banda 3 do sistema *Landsat* (ANEXO 3).

O produto final dessas operações matemáticas foi uma imagem resultante da razão e divisão de bandas associadas a banda 5. A composição colorida em R,G,B ( $b_4 / b_3$ ,

b4-b3, b5), permitiu realçar e identificar alguns tipos de vegetação e solos expostos (ANEXO 3).

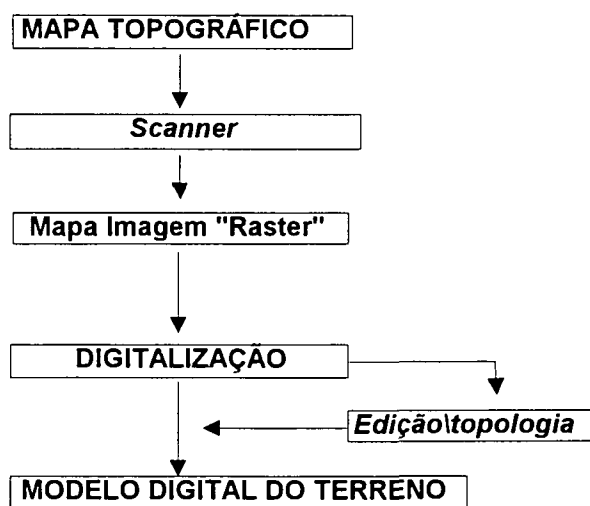
### 3.5 DIGITALIZAÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL

As altitudes foram digitalizadas a partir das cartas topográficas 1:50.000 que recobrem a região. Primeiro, as cartas foram escanizadas ou copiadas em formato digital através de um *scanner* de precisão, com resolução de 800 *dpi* (*dots per inch*). Iniciou-se, então, o processo de digitalização das curvas de nível sobre a imagem rasterizada. Este procedimento foi possível utilizando o módulo *ARCEDIT* do *software ARC-INFO*, que permitiu digitalizar vetores sobre imagens *rasterizadas* (FIGURA 6).

As curvas digitalizadas foram editadas - correção dos erros provenientes da digitalização - e então, criada a topologia de arco. Cada arco passou a possuir uma tabela de atributo com a cota correspondente.

A referência geográfica (coordenadas UTM) da cobertura vetorial das curvas de nível foi importada das imagens escanizadas das cartas topográficas que foram retificadas por meio do seu próprio reticulado. A nova cobertura vetorial ficou composta por curvas de nível espaçadas de 20 metros e com topologia de arco (ANEXO 4).

FIGURA 6 - Fluxograma com as etapas da digitalização das curvas de nível através de cartas topográficas rasterizadas.



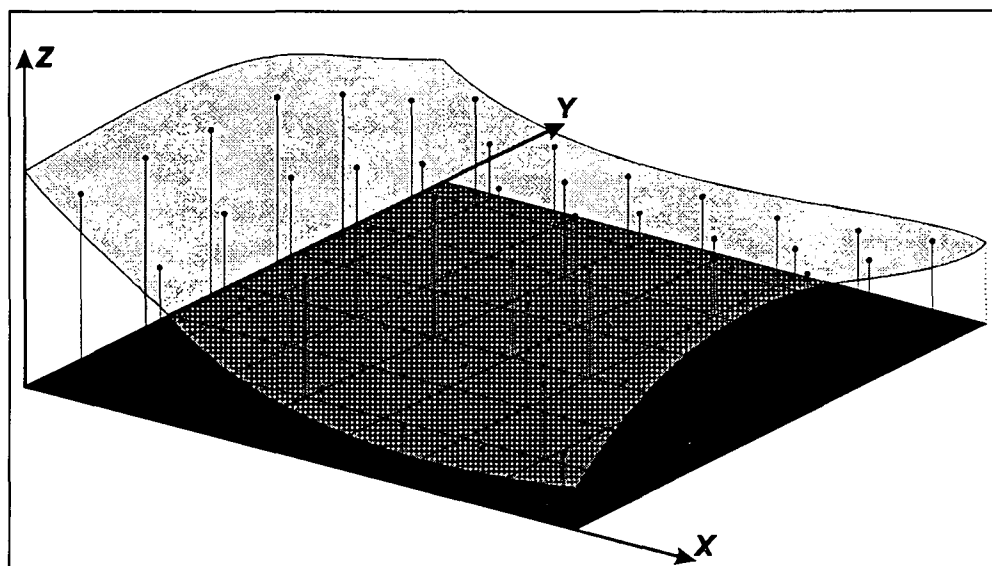
### 3.6 MODELO DIGITAL DO TERRENO

Os dados altimétricos digitalizados foram então densificados por interpolação matemática, de forma a gerar uma superfície cotada. Esta superfície contínua composta do conjunto de pontos com coordenadas E, N e Z (altitude) foi denominada **MDT**, modelo digital do terreno (ANEXO 4).

A rotina computacional *TIN* (triangulation interpolation network) disponíveis na maior parte dos *softwares* de geoprocessamento permitiu obter o modelo numérico do terreno. A criação do modelo matemático consistiu no agrupamento de pontos (*E, N e Z*) provenientes das curvas de nível, de forma que todo o conjunto simulasse o comportamento da superfície real. Os pontos interpolados foram transformados no formato celular ou *de* grades regulares (FIGURA 7). O modelo foi, posteriormente, convertido em imagem cotada (STEFANOVIC, 1987; ESRI, 1991).



FIGURA 7- Superfície e grade regular dos dados altimétricos (Fonte : NAMIKAWA, 1995).



A imagem gerada foi composta por polígonos formados por um conjunto de células que possuíam como atributo a mesma variação de altitude. Em outras palavras, a imagem apresentou áreas ou faixas de variação de altitude. Os dados (*pixels*) dispostos em faixas de variação de altitude serviram para aprimorar o algoritmo de pós-classificação na identificação de classes vegetais de difícil distinção na imagem.

### 3.7 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

O procedimento metodológico de classificação baseou-se em dois processos distintos, mas que de certa forma se complementam (KLOER, 1995). O primeiro processo, foi a classificação supervisionada a qual foi controlada através da seleção de um conjunto de *pixels* que representasse determinada classe. Foi um processo interativo de seleção de amostra. O segundo método utilizado, de classificação não supervisionada, é muito mais dependente da

automação computacional, uma vez que um algoritmo trata de aglomerar *pixels* dentro de uma mesma variação espectral (ANEXO 3).

Ambos os métodos, associados aos índices de vegetação, proporcionaram uma maior confiabilidade na seleção amostral das diferentes classes de vegetação.

### 3.7.1 Seleção das áreas de treinamento

As áreas de treinamento foram selecionadas na imagem levando em consideração informações disponíveis sobre a vegetação da região - dados de campo (GPS) e mapas temáticos.

Alguns procedimentos foram adotados a fim de selecionar áreas de treinamento representativas: a- as amostras com número de *pixels* suficientemente grande para permitir a estimativa das características espectrais das classes a serem mapeadas; b- área treinamento mais homogêneas possíveis; c- avaliação do histograma de cada amostra a fim manter a distribuição mais próxima da normal possível; d- interpretação prévia da imagem e de levantamentos de campo (NOVO, 1992; LAUER, 1994; FULLER, GROOM & JONES, 1994; ERDAS, 1994).

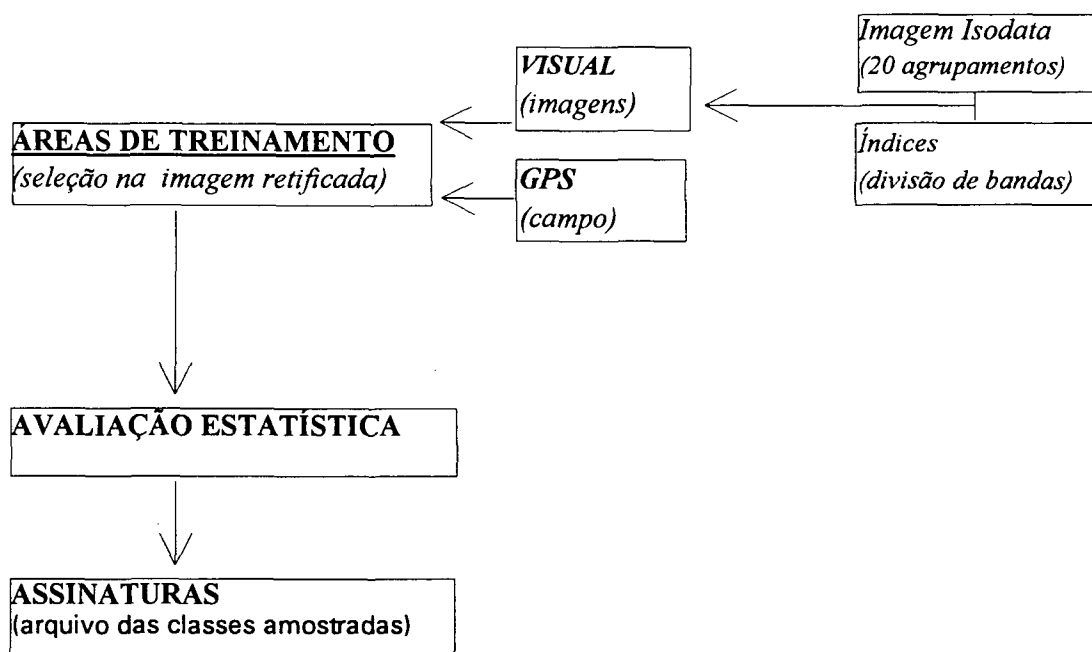
As áreas de treinamento foram coletadas da imagem nas composições coloridas das bandas 5, 4, 3 e 5, 4, 2. As amostras GPS com algumas categorias (ANEXO 2) foram sobrepostas na imagem a fim de auxiliarem o reconhecimento da vegetação. Desta forma, a imagem resultante das operações matemáticas com as bandas 3 e 4 (índice de vegetação) tornou possível o reconhecimento de alguns padrões (ANEXO 3).

As amostras ou áreas de treinamento, foram delimitadas através de digitalização de um ou mais polígonos na imagem. Estes foram compostos por *pixels* que apresentavam

determinada homogeneidade espectral. Para tanto, a cada assinatura foi calculado a estatística da amostra- valor máximo, valor mínimo, média, desvio padrão, variância e o histograma.

O método automático de agrupamento de *pixels* (*clusters*) ou classificação não supervisionada auxiliou a seleção das áreas de treinamento na imagem. O algoritmo de agrupamento (*Isodata*) permitiu reunir *pixels* espectralmente muito próximos, quase homogeneizando os agrupamentos. A imagem contendo os agrupamentos serviu como referência no processo supervisionado de classificação (FIGURA 8).

FIGURA 8 - Fluxograma de seleção das áreas de treinamento (amostras) através de interpretação visual e pontos GPS.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ASSINATURAS

Selecionadas as áreas de treinamento, foi gerado um arquivo de assinaturas composto por todas as amostras coletadas, de acordo com os procedimentos metodológicos expostos no capítulo anterior (FIGURA 9). O arquivo relacionou, geograficamente, as classes das amostras e informações estatísticas tais como histograma, desvio padrão e matriz variância.

Observou-se que o processo de coleta de amostras (*pixels*) exigiu muito conhecimento do analista sobre a área de estudo. Após o processo de análise estatística das amostras, escolheram-se as mais significativas estatisticamente para compor o arquivo de assinaturas. Esta foi uma das fases mais cruciais e que consumiu mais tempo no processo de classificação da vegetação.

Na FIGURA 9 pode-se observar a edição preliminar do arquivo de assinaturas, com 30 amostras. Foi uma primeira tentativa de maior discriminação, possível, entre as seguintes categorias:

- 1 - *Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha (mangues);*
- 2 - *Transição entre Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha e de Influência Marinha (mangue - restinga);*
- 3 - *Transição entre Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha e F.O.D. das Terras Baixas;*
- 4 - *Formação Pioneira de Influência Marinha (restingas);*
- 5 - *Transição entre Formação Pioneira de Influência Marinha e F.D.O. das Terras baixas;*

- 6 - Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (secundária ou em fases avançadas);
- 7 - Floresta Ombrófila Densa Submontana (secundária ou em fases avançadas);
- 8 - Vegetação Secundária em fase inicial (capoeirinha);
- 9 - Vegetação Secundária em fase intermediária (capoeira);
- 10 - Pastagem;
- 11 - Baixios;
- 12 - Baía;
- 13 - Praias e dunas;
- 14 - Solo exposto (estradas e urbes);
- 15 - Cordões Litorâneos.

FIGURA 9 - Editor de assinaturas.

Signature Editor (classes2.sig)					
Class#	Signature Name	Color	Red	Green	Blue
1	soloexp1		0.952	0.712	1.000
2	soloexp2		1.000	0.580	1.000
3	pastagem		0.974	0.651	0.972
4	pastagem2		0.794	0.659	0.721
5	soloexp2		1.000	0.456	0.683
6	intercordoes		0.742	0.548	0.847
7	restinga		0.599	0.419	0.682
8	restinga2		0.721	0.487	0.716
9	restinga3		0.790	0.413	1.000
10	mangue		0.409	0.447	0.613
11	mangue2		0.497	0.463	0.636
12	transicao m/tb		0.427	0.510	0.644
13	mangues1		0.310	0.503	0.420
14	mangues		0.317	0.513	0.438
15	tb1		0.718	0.827	0.601
16	tb2		0.599	0.731	0.421
17	alterada		0.519	0.698	0.617
18	alterda2		0.515	0.771	0.588
19	alterda3		0.558	0.819	0.447
20	tb3		0.394	0.551	0.371
21	tb4		0.423	0.610	0.393
22	restiga3		0.489	0.646	0.572
23	sm		1.000	0.981	0.711
24	sm2		0.987	0.915	0.712
25	alterda4		0.662	0.748	0.506
26	sombra		0.050	0.230	0.173
27	baixios		0.071	0.213	1.000
28	baia		0.005	0.149	0.535
29	praia		1.000	0.898	1.000
30	sb3		1.000	1.000	0.650

#### 4.1.1 Características

Com as combinações das bandas 5,4,3 e 5,4,2 e das amostras GPS, através das variações de tonalidade e textura, pode-se interpretar visualmente a imagem, distinguindo-se então três tipos de manguezais. O primeiro tipo, situado nas desembocaduras dos rios Tagaçaba e Guaraqueçaba, o segundo, no interior da Baía de Guaraqueçaba (ex. Ilha da Pavoça) e o terceiro situado na desembocadura dos braços de mar da Ilha das Peças, Ilha do Superagui e no interior do Canal do Varadouro.

Segundo NAIZOT (1992) & MARTIN (1993), o desenvolvimento de diferentes comunidades de manguezais (FIGURA 10) estão relacionados com as condições do meio tais como: setores de maior influência fluvial, setores de maior influência marinha e setores de influência mista. As diferentes comunidades foram bem distinguíveis nas faixa espectral de 0,76 a 1,75  $\mu\text{m}$ . Entretanto, nas áreas mais internas nas desembocaduras dos rios, houve uma certa dificuldade de diferenciação entre o manguezal e a F.O.D. das Terras Baixas. Desta forma, uma nova classe de transição entre manguezais e F.D.O. das Terras Baixas foi também amostrada, baseada em interpretação visual.

O aumento de contraste através da manipulação dos histogramas de frequência das bandas 2 e 3 foram muito úteis na diferenciação de mangues, solos expostos e vegetação alterada.

A restinga (FIGURA 11) também foi identificável nas áreas limítrofes entre os cordões e o litoral arenoso. As amostras são identificáveis na combinação das bandas 5, 3 e 2 e com o índice de vegetação (ANEXO 3). Por meio da variação de tonalidade das amostras, dois tipos

de restingas foram identificáveis: a vegetação herbácea de dunas e a vegetação densa (arbustivo lenhosa) mais interiorizada.

As amostras de F.O.D. das Terras Baixas (secundária ou em fase avançada) foram detectadas nas planícies dos rios e no interior norte da Ilha do Superagui, onde espectralmente divergem dos mangues e restingas (FIGURA 12).

No interior da Ilha das Peças pode-se observar um tipo vegetação de transição entre as F.O.D. das Terras Baixas e os manguezais, principalmente nas banda 4 e 5. Devido à influência fluvial que ocorre no interior da Ilha das Peças (FIGURA 13), concluiu-se tratar-se de Formação Pioneira de Influência Fluvial (CURCIO & GALVÃO, 1996).

Os cordões litorâneos (FIGURA 14) aparecem nitidamente na combinação das bandas 5,4,2 e na razão da banda 4 pela banda 3 (ANEXO 3). Os cordões, geralmente, compostos por sedimentos arenosos, no interior da Ilha do Superagui, tiveram resposta espectral muito próxima das dunas. Os intercordões, áreas palustres no interior na Ilha do Superagui possuem uma leve diferença espectral com relação aos mangues. Separou-se, então a assinatura de intercordões dos manguezais por caracterizar um zona pantanosa composta por uma vegetação de transição.

A fim de realçar as bordas de alguns tipos de vegetação e solos expostos, a imagem foi submetida a um filtro de alta frequência denominado realce de borda ou *edge enhancer* (RICHARDS, 1993; ERDAS, 1994 ). Com a nova imagem filtrada foi possível perceber os limites de algumas categorias de solo exposto e de formações pioneiras.

As áreas de pastagem foram selecionadas por GPS e identificação visual apresentaram uma distância espectral bem próxima da capoeirinha, o que inviabilizou sua manutenção em classes distintas (FIGURA 15)

A diferenciação precisa entre a vegetação submontana e terras baixas (FIGURA 16), que são espectralmente próximas, só foi possível pelo conhecimento das altitudes. Mesmo assim, amostras foram coletadas nas áreas montanhosas da região de Guaraqueçaba. Para essas classes não houve diferenças entre vegetação primária e secundária devido às limitações do sensor TM5 (ADAMS et al., 1990; PYE, ANTUNES & MULLER, 1995; ALVES et al., 1996).

As áreas de baixios foram de fácil observação principalmente quando foram utilizadas as bandas 4, 3 e 2, na combinação RGB. Foi também possível separar diferentes zonas de profundidades no interior da baía. As bandas 4, 2 e 3 possibilitaram também distinguir o litoral arenoso das áreas de solo exposto, que inclui estradas, urbe e queimadas.

FIGURA10 - Áreas de manguezais no setor sul da Ilha das Peças. Observa-se o predomínio de *Rhizophora mangle* e a ocorrência de *Spartina* sp. (canto inferior direito).





FIGURA 11 - Restingas próximas ao antigo farol do canal de Sueste da Ilha das Peças; vegetação baixa e pouco desenvolvida junto a praia.

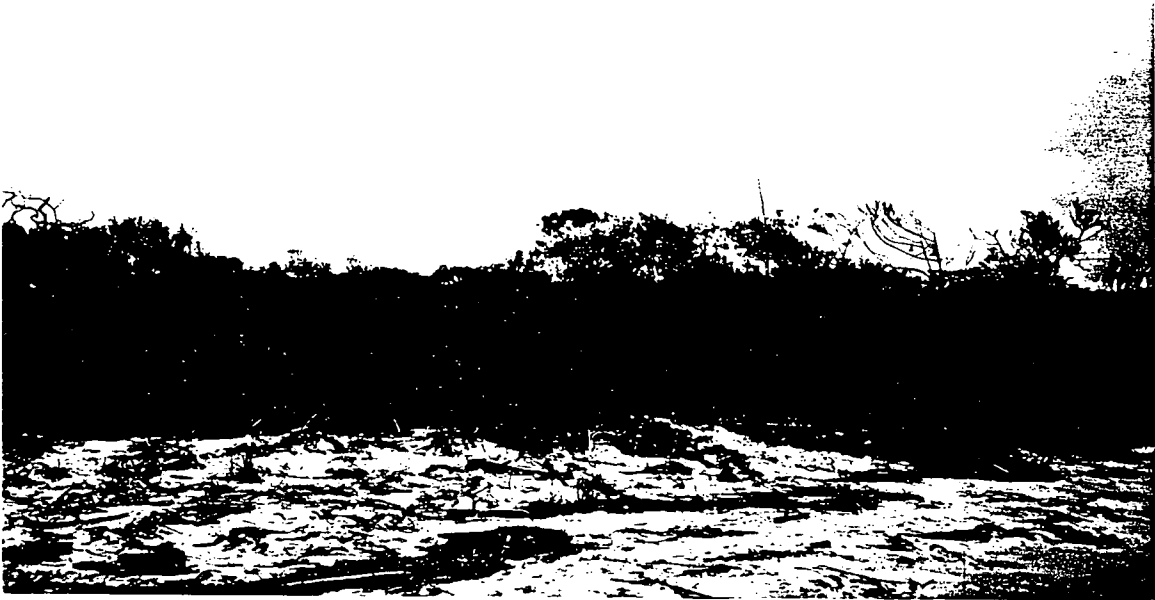


FIGURA 12 - Formação das Terras Baixas após a faixa de manguezais, interior da Ilha das Peças.



FIGURA 13 - A Formação Pioneira de Influência Fluvial pouco desenvolvida e em zonas alagadas no interior da Ilha das Peças (Fonte: SPVS).



FIGURA 14 - Cordões litorâneos, pequenas dunas com vegetação rala, próximo a Praia Deserta na Ilha do Superagui.



FIGURA 15- Vegetação alterada e ilhas de capoeira entre as zonas de pastagens, próximas à estrada PR 405 no interior da Baía de Guaraqueçaba.



FIGURA 16- Formação submontana alterada junto à estrada PR 405, a 10 km de Guaraqueçaba.



#### 4.1.2 Avaliação estatística das assinaturas

O arquivo de assinaturas referente às classes de vegetação foi associado às informações estatísticas que incluem valor de nível de cinza máximo e mínimo de *pixel* para as quatro bandas, valor médio do *pixel*, número de *pixel* de cada assinatura, desvio padrão e matriz variância-covariância (ANEXO 5). Isto permitiu que as assinaturas criadas pudessem ser reavaliadas, excluídas, renomeadas e agrupadas. No caso, diferentes amostras de uma mesma classe puderam ser agrupadas numa só assinatura.

Foram detectados três tipos distintos de manguezais, de acordo com as condições pedológicas, porte dos indivíduos florestais e salinidade de água da baía. As diferenças entre as médias dos valores dos *pixels* para cada assinatura foi bastante variável para mangue 1 e mangue 2, o que possibilitou uma melhor distinção. No entanto, entre mangue 3 e mangue 1 esta diferença foi menor.

Na TABELA 4 observou-se também que o número máximo de *pixels* das amostras foi 54. Isto se deveu ao fato da dificuldade de selecionar áreas de treinamento homogêneas, devido a diversidade da vegetação. Notou-se também que as assinaturas possuíam respostas espectrais bem próximas.

Na verdade, um maior número de *pixels* deveria ser amostrado para cada assinatura. Contudo, isto aumentaria a amplitude espectral da assinatura (NOVO, 1992; RICHARDS, 1993). Preferiu-se, então, priorizar homogeneidade das assinaturas dentro de um número mais representativo possível de *pixels* (ANEXO 5). Por esta razão, algumas assinaturas foram suprimidas e outras foram agrupadas. Estas alterações no arquivo de assinaturas puderam ser avaliadas por meio da estatística das amostras. Verificou-se que quanto maior era o número de categorias mais problemática era a separação espectral entre elas.

TABELA 4- Três diferentes assinaturas de Formação Pioneira de Influência Fluvio-Marinha (manguezais).

ASSINATURA, (nº de "pixels")	Valor Mínimo	Valor Máximo	ESTATÍSTICA	
			Média	DP
MANGUE 1, (47)				
Banda 2	98	176	135,55	14,91
Banda 3	90	165	112,66	13,59
Banda 4	111	131	120,48	5,30
Banda 5	98	150	116,77	12,11
MANGUE 2, (54)				
Banda 2	58	78	73,55	8,40
Banda 3	45	105	79,17	14,70
Banda 4	115	132	120,70	4,89
Banda 5	52	104	80,52	11,72
MANGUE 3, (53)				
Banda 2	78	117	91,47	13,23
Banda 3	60	120	101,4	8,90
Banda 4	94	106	101,6	2,63
Banda 5	81	133	105,8	10,23

A matriz variância-covariância ( $n \times m$ ) continha todas as variâncias e covariâncias para um número  $n$  de bandas. Isto tornou possível avaliar a relação entre os valores (DN) de um mesmo *pixel* para as diferentes bandas. Os valores da matriz variância-covariância foram determinados de acordo com a seguinte expressão (LARSEN & MARX, 1981):

$$CAB = \sum_{i=1}^K (Ai - \mu A) * (Bi - \mu B) / (K - 1), \text{ onde:}$$

$CAB$ , covariância entre duas bandas  $A$  e  $B$  quaisquer;

$Ai$  e  $Bi$ , valores individuais dos *pixels* para as bandas  $A$  e  $B$ .

$\mu A$ , média dos valores dos *pixels* para banda  $A$ ;

$\mu B$ , média dos valores dos *pixels* para banda  $B$ ;

$K$ , número de *pixels* para as bandas  $A$  e  $B$ .

Tomando como exemplo a amostra de *mangue 2* obteve-se a seguinte matriz variância-covariância (TABELA 5) :

TABELA 5 - Matriz variância-covariância para mangues 2.

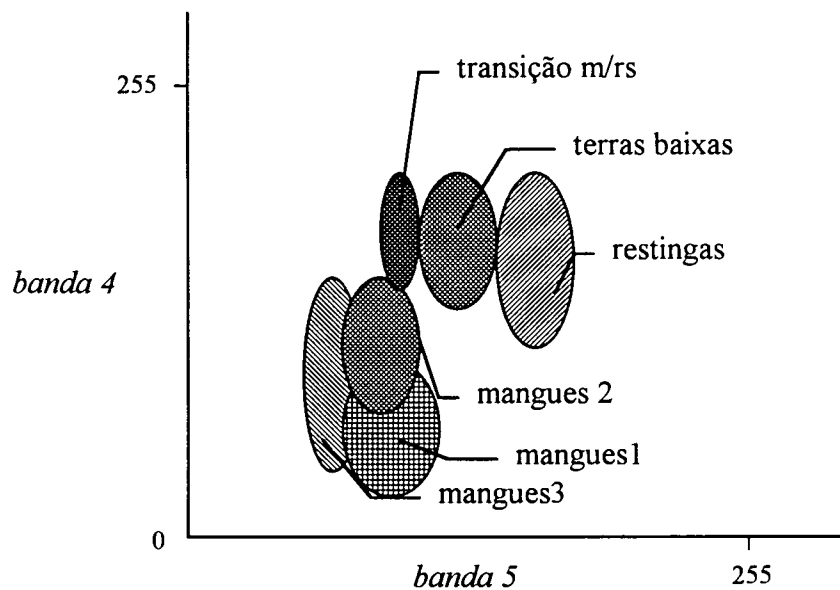
Bandas	2	3	4	5
2	70,44	1,88	-17,94	3,4
3	1,88	215,80	-9,49	18,74
4	-17,94	-9,50	23,90	9,30
5	3,40	18,74	9,30	137,31

A diagonal principal da matriz da TABELA 5 representa a variância da amostra, caso particular da covariância quando as bandas envolvidas são iguais. A covariância permitiu avaliar o quanto de informação contida num par de bandas é comum a ambas (ANEXO 5). Em outras palavras, as covariâncias mostraram as correlações existentes entre os *pixels* da amostra para um par de bandas. Em adição, a variância permitiu também avaliar a heterogeneidade da amostra (CRÓSTA, 1993; ERDAS, 1994).

Algumas outras facilidades tais como elipse, histograma, matriz de contingência e separabilidade possibilitaram a avaliação das assinaturas antes da classificação da imagem (ANEXO 6 e ANEXO 7).

As elipses foram calculadas a partir das médias e de desvios padrões armazenados no arquivo de assinaturas (ANEXO 7). Consistiu numa figura bidimensional onde no eixo vertical tem-se as variações dos níveis de cinza para uma banda e, no eixo horizontal, as mesmas variações para uma outra banda. Geralmente, as assinaturas possuíam elipses que se sobrepunham, representando classes de difícil distinção espectral (FIGURA 17). O seu efeito visual permitiu a melhor compreensão da distribuição espectral dos dados amostrados em cada assinatura.

FIGURA 17 - Elipses referentes a seis diferentes assinaturas ( figura simplificada)



As assinaturas de mangue1, mangue2 e mangue3 apresentaram uma maior sobreposição, podendo-se concluir que essas amostras tiveram respostas espectrais muito próximas. Por outro lado, observou-se uma razoável distinção entre mangues e restingas. A assinatura de vegetação de transição (Formação Pioneira de Influência Fluvial) apresentou uma sobreposição com as assinaturas de restingas e terras baixas (FIGURA 17). As sobreposições puderam ser, também, constatadas nas matrizes do ANEXO 5.

Como já foi abordado, a maioria das assinaturas deveria ser, preferencialmente, compostas por *pixels* homogêneos, no entanto isto raramente ocorreu (TABELA 4). A fim de se analisar o efeito da heterogeneidade dos *pixels* de uma amostra antes da classificação, lançou-se mão da avaliação da matriz de contingência, que consistiu na aplicação de processos de classificação dentro da própria amostra. Em outras palavras, apresentou a porcentagem de *pixels* classificados conforme o esperado (ANEXO 6). Para exemplificar, verificou-se que dos

116 *pixels* da assinatura de solo exposto, 2 *pixels* poderiam ser classificados como restinga. Isto significa que 99% dos *pixels* da amostra representaram a classe de solo exposto.

Outra maneira de verificar a aplicabilidade de uma assinatura no processo de classificação foi a análise da separabilidade entre amostras. Este método é baseado na medida estatística que permite determinar a distância espectral entre o vetor médio para cada par de assinatura. Se a distância espectral entre um par de amostras não for significativa, isso indica uma proximidade espectral entre as assinaturas, o que não é recomendável à classificação (ANEXO 7). Nas assinaturas coletadas, verificou-se que a distância espectral entre mangue e solo exposto foi de 258. No entanto, a distância entre as assinaturas de terras baixas e restingas foi 35. Estes valores mostraram que terras baixas e restingas possuem uma proximidade espectral pequena em relação a mangue e solo exposto, ou seja, foi muito mais fácil separar espectralmente solo exposto de mangue do que restinga e terras baixas. Não obstante, os valores de separabilidade foram analisados em conjunto para todas as assinaturas entre si. Valores isolados da distância espectral tiveram pouca significância. Com a análise dessa ferramenta, pode-se confirmar a semelhança de resposta espectral observada entre as assinaturas: Formações Pioneiras de Influências Fluvial, Fluvio-marinha e Marinha, F.O.D. das Terras Baixas e intercordões litorâneos, bem como as áreas de transição entre estas formações.



### 4.1.3 Reedição

Uma vez utilizadas todas as ferramentas de análise das amostras, iniciou-se o processo de reedição das assinaturas. Devido à proximidade espectral entre capoeirinha, capoeira e pastagem, estas foram agrupadas numa só assinatura, denominada vegetação alterada. Da mesma forma, praias, dunas, urbe e estradas, foram agrupadas na classes de solo exposto. As assinaturas de sombras e canal, apesar de serem bem próximas entre si, foram individualizadas. Levando-se em consideração a classificação da vegetação proposta pelo IBGE (1992a), foi reeditado o arquivo de assinaturas, que passou a contar com as seguintes categorias:

- 1 - Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha (mangue)1;*
- 2 - Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha (mangue)2;*
- 3 - Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha (mangue)3;*
- 4 - Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha (intercordões);*
- 5 - Formação Pioneira de Influência Fluvial;*
- 6 - Formação Pioneira de Influência Marinha (cordões);*
- 7 - Formação Pioneira de Influência Marinha (restinga;)*
- 8 - Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas;*
- 9 - Floresta Ombrófila Densa Submontana;*
- 10 - Vegetação alterada;*
- 11 - Solo exposto;*
- 12 - Baixios (águas rasas);*
- 13 - Baía;*
- 14 - Sombras;*
- 15 - Canal.*

## 4.2 CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM

No caso do método de decisão da **máxima probabilidade**, as assinaturas apresentaram distribuições normais e as distâncias calculadas levaram em conta a matriz covariância. A distância foi determinada pela seguinte expressão:

$$D = \ln(ac) - [0.5 \ln(|Covc|)] - [0.5(X - \mu c)^t (1/Covc)(X - \mu c)]$$

onde:

$D$  = distância com pesos (*Baysian Decision rule*, HORD, 1982);

$c$  = classe;

$X$  = vetor dos dados do *pixel* candidato;

$\mu c$  = vetor média dos valores para classe  $c$ ;

$ac$  = probabilidade de qualquer *pixel* pertencer à classe  $c$ ;

$Covc$  = matriz covariância da assinatura  $c$ ;

$|Covc|$  = determinante da matriz covariância;

$1/Covc$  = matriz inversa da covariância;

$\ln$  = logaritmo natural;

$t$  = transposta.

Assumiu-se neste caso que em todas as assinaturas as probabilidades são iguais para todas as classes, ou seja,  $ac = 1$ . Todos os *pixels* da imagem foram classificados de acordo com esta regra de decisão. Este método, em relação a outros existentes - **mínima distância e paralelepípedo** - é o mais acurado ( HORD, 1982; BARRET & CURTIS, 1992; CRÓSTA, 1992; LAUER, 1994; FULLER, GROOM & JONES, 1994; McCLOY, 1995). Isto se deveu ao fato de ter sido considerado um maior número de variáveis. No entanto, existiu

uma tendência de superclassificação, ou seja, relacionar um maior número de *pixels* às amostras com maiores valores relativos contidos na matriz covariância ( HORD, 1982; RICHARDS, 1993).

A imagem temática gerada apresentou *salt and pepers*, ou seja, *pixels* ou pequenos agrupamentos isolados que aparecem espalhados em algumas regiões homogeneamente classificadas, criando um ruído na imagem. A eliminação desse problema foi possível utilizando-se um filtro (3x3) de moda, que possibilitou agregar os *pixels* ou pequenos agrupamentos à classe mais próxima ao valor majoritário da janela (ANEXO 8). Este processo generaliza a imagem excluindo informações desnecessárias e pouco significativas (SABINS, 1987; RICHARDS, 1993; FULLER, GROOM & JONES, 1994)

O resultado final foi uma imagem temática de uma banda composta por cores similares àquelas que compunham o arquivo ou editor de assinaturas utilizado na classificação. Associada à imagem temática, criou-se um arquivo de atributos que armazenou dados sobre as classes, tais como: nome, área, identificador e número de pixels para cada categoria. O arquivo de atributos gerado foi utilizado, posteriormente, para avaliar a confiabilidade da classificação.

A fim de facilitar os procedimentos de impressão e ocupar menos espaço em disco, a imagem da FIGURA 18 foi reduzida da escala original do mapeamento (1: 120.000).

#### **4.2.1 Avaliação das classes**

Uma vez gerado o primeiro mapa de vegetação, pôde-se analisar com mais cuidado a disposição das classes de acordo com o arquivo de assinaturas. Verificou-se que o mapa temático ficaria mais legível se as classes fossem subdivididas em Floresta Ombrófila Densa, Formações Pioneiras, Atividades Antrópicas e demais classes.

A Floresta Ombrófila Densa ficou sub-dividida em Terras Baixas, Submontana e Montana (pós-classificação).

As Formações Pioneiras foram reavaliadas e categorizadas levando em consideração as suas gêneses. As Formações Pioneiras de Influência Marinha e Fluvial, anteriormente atribuídas às categorias de cordões e intercordões, apresentaram na imagem variações visuais de textura (bandas 5, 4, 2 e índice de vegetação). A banda 2 foi útil na detecção de sedimentos que compõem os cordões. As variações de textura e tonalidade da imagem na combinação das bandas 5, 4, 3, possibilitaram a identificação das seguintes classes: Formação Pioneira de Influência Eólico-marinha (não consolidada); Formação Pioneira de Influência Eólico-marinha (consolidada); Formação Pioneira de Influência Fluvio-eólico-marinha (consolidada), Formação Pioneira de Influência Fluvial e Fluvio-marinha (FIGURA 18).

Os cordões e intercordões mais antigos e mais interiorizados, como os da Ilha das Peças, por apresentarem um reafeiçoamento, permitem um processo sucessional da vegetação mais avançado, similar ao da Formação Pioneira de Influência Fluvial, verificada nessa região (CURCIO & GALVÃO, 1996).

Na Ilha do Superagui observaram-se cordões litorâneos mais recentes, formados no Holoceno e sujeitos mais constantemente à influência do vento e do mar (FIGURA 18). A vegetação de influência Eólico-marinha pouco consolidada, composta de vegetação rasteira, surge na parte frontal dos cordões paralelos e próximos à praia. Mais no interior da Ilha, nos intercordões (depressões), com influência eólica e sobre solos hidromórficos, observou-se uma vegetação mais consolidada de influência fluvial, mas texturalmente diferente da observada na Ilha das Peças. Formações Pioneiras de Influência

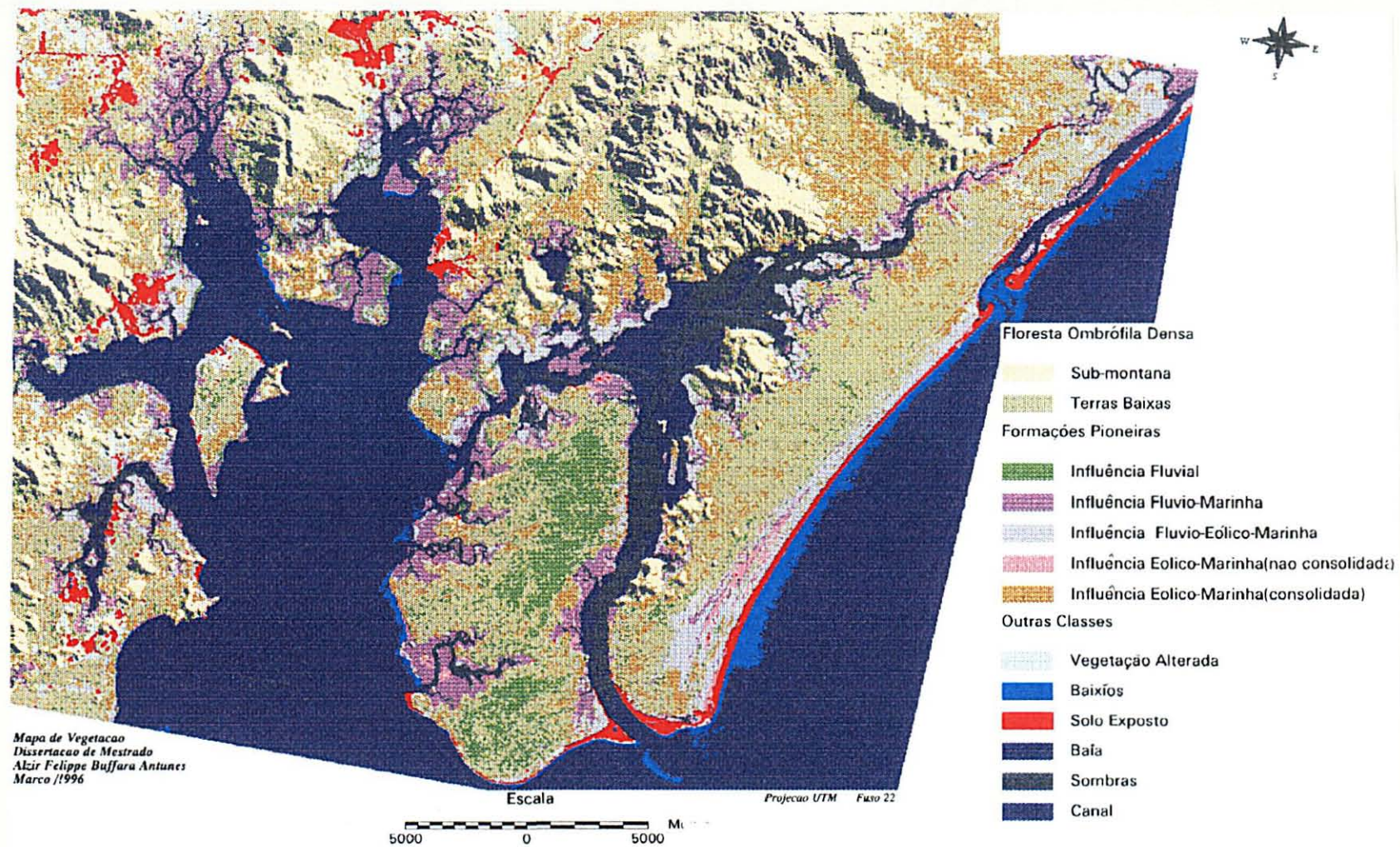
Eólico-marinha consolidada, de porte arbustivo, foram também detectadas nas proximidades da praia na Ilha das Peças e no interior da Ilha do Superagui ( CURCIO & GALVÃO, 1996).

As Formações Pioneiras de Influência Fluvio-marinha (manguezais) apesar de terem sido separadas em três classes distintas, continuaram a compor uma classe única no mapa. As classes de solo exposto e vegetação alterada foram agregadas às atividades antrópicas. A TABELA 6 resume as características das categorias de vegetação mapeadas (FIGURA 18).

TABELA 6- Características das categorias de vegetação da imagem classificada.

CLASSES	CARACTERÍSTICAS	Observações
<u>F.P.I. Fluvio-marinha</u>	Manguezais constituídos por comunidades de diferentes portes: arbóreas ( <i>Rhizophora</i> , <i>Laguncularia</i> e <i>Avicennia</i> ) e gramíneas ( <i>Spartina</i> sp.)	Assinatura composta de três tipos de manguezais
<u>F.P.I. Fluvio-eólico-marinha</u>	Vegetação de áreas brejosas, sobre solos hidromórficos. Situadas nos intercordões litorâneos no interior da Ilha do Superagui, sujeita a ação dos ventos.	Assinatura de F.P.I Fluvio-marinha dos Intercordões litorâneos
<u>F.P.I. Fluvial</u>	Vegetação típica de áreas brejosas sobre intercordões litorâneos mais antigos, reafeiçoados, que permitem um processo sucessional mais avançado, com sub-bosque arbóreo- Ilha das Peças.	Inclui a assinatura de transição entre restinga e terras baixas.
<u>F.P.I. Eólico-marinha Consolidada</u>	Restingas que ocupam os antigos cordões litorâneos com espécies arbustivas e arbóreas.	Assinatura F.P.I. Marinha em cordões litorâneos
<u>F.P.I. Eólico-marinha não consolidada</u>	Restingas que ocupam dunas e cordões mais recentes próximo a praia Vegetação rasteira. Xeromórfismo.	Assinatura F.P.I. Marinha (restinga) mais interiorizada
<u>F.O.D das Terras Baixas (secundária ou em fase avançada)</u>	Ocupa áreas mais interiorizadas (planícies) com solos mais estáveis com fisionomia mais estruturada.	Inclui a assinatura de transição manguê e terras baixas.
<u>F.O.D. Submontana (secundária ou em fase avançada)</u>	Cobertura arbórea densa e uniforme de início da encosta, situada, em média, entre as altitudes de 50 a 500 metros.	
<u>F.O.D. Montana (secundária ou em fase avançada)</u>	Cobertura arbórea de meio de encosta situada em média entre as altitudes de 500 a 1000 metros.	

FIGURA 18 - Imagem classificada da vegetação



#### 4.2.2 Acurácia da imagem classificada

Para verificar se as informações que compunham o mapa de vegetação possuíam confiabilidade temática, fez-se necessário avaliar a acurácia da classificação. A acurácia está relacionada aos efeitos dos erros aleatórios e sistemáticos que ocorrem no processo de classificação (GEMAEL, 1994).

Geralmente a acurácia de mapas provenientes de fotointerpretação é aceita como adequada sem que haja uma confirmação com dados coletados em campo. Não obstante, muito raramente a fotointerpretação é totalmente correta (BIGING & CONGALTON, 1989).

Uma vez que os dados de sensoriamento remoto foram classificados segundo inferências estatísticas, a avaliação da acurácia tornou-se fundamental na validação do mesmo.

O procedimento mais comum de verificação é a amostragem de pontos de referência, ou seja, pontos que possuam coordenadas e categorias conhecidas coletadas em campo. Estes pontos são, então, comparados aos pontos classificados na imagem.

A amostragem dos pontos de referência seguiram parâmetros estatísticos para que pudesse ser representativa e apresentasse determinado grau de confiabilidade. As amostras foram estabelecidas de forma aleatória, estatigraficamente (categorias de interesse). Isto permitiu que a amostragem não fosse viciada e que as classes pouco dominantes no mapa de vegetação não fossem desconsideradas (ROSENFELD, 1982; CONGALTON, 1991).

Para verificação da acurácia na área de estudo, foi efetuada uma amostragem de *pixels*. Selecionou-se para categorias de maior interesse, tais como restingas, mangues, florestas submontanas, das terras baixas e vegetação alterada, em torno de 60-70 *pixels* de referência. Para classes de menor interesse como solo exposto, baixios, sombras e água, em torno de 30 *pixels*. Os pontos de referência amostrados foram determinados de maneira

aleatória, de acordo com estudos realizados por ROSENFELD, FITZPATRIK-LINS & LING (1982); CONGALTON (1991) e RICHARDS (1993).

Os pontos de referência traziam consigo coordenadas UTM, e puderam ser visualizados nas imagens classificadas e retificadas da área de estudo. O reconhecimento das amostras foram feitas por fotointerpretação, ou seja, sobrepostos na imagem original. A identificação foi auxiliada por mapas de vegetação preexistentes e levantamentos de campo. Contudo, o aspecto mais importante para interpretação das categorias foi o reconhecimento da região através de várias visitas ao campo.

Apesar do método mais comum ser a verificação a campo, houve uma inviabilidade de acesso à área de estudo para identificar 800 pontos selecionados aleatoriamente. Além disso, a defazagem temporal que existia entre a tomada das imagens, julho de 1993 e a data de verificação de campo (abril e setembro de 1995), prejudicaria a avaliação de algumas classes.

Estimou-se por meio de 47 pontos de referências amostrados, em campo (GPS) e mapas topográficos, a exatidão da fotointerpretação ou interpretação da imagem. Os pontos amostrados e classificados em campo foram comparados com interpretação visual da imagem (combinação das bandas 5,4 e 3). A acurácia total da fotointerpretação ficou compreendida no intervalo de 95,55% a 81,20%, com 95% de certeza (ANEXO 9).

A verificação entre os pontos de referência (ANEXO 10) e seus correspondentes na imagem classificada da vegetação possibilitou a análise da acurácia através da matriz de erros (TABELA 7).

Na matriz de erros, a diagonal principal contém o número de *pixels* corretamente classificados para cada categoria. A última coluna totaliza os pontos de



referência para cada classe. A última linha totaliza o número de pontos atribuídos a determinada categoria.

TABELA 7- Matriz dos erros.

classes:

1- F.O.D. Submontana, 2- F.P.I. Fluvial, 3- F.P.I. Fluvio-marinha (Mangues1), 4- F.P.I. Fluvio-marinha (Mangues2), 5- F.P.I. Fluvio Marinha (Mangues3), 6- F.O.D. das Terras Baixas, 7- F.P.I. Fluvio-eólico-marinha (intercordões), 8- F.P.I. Eólico-marinha (não consolidada), 9- Vegetação Alterada, 10- Baixios, 11- Solo Exposto, 12- F.P.I. Eólico-marinha (consolidada), 13- Baia, 14- Sombras, 15-Canal (não testado).

Classe	Pontos de Referência															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	$\Sigma X_{ij}$
1	41	0	0	0	0	11	0	0	4	0	0	0	0	0	0	56
2	5	61	7	4	0	6	2	1	0	0	0	1	0	0	0	87
3	0	0	58	0	0	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	62
4	7	3	0	65	0	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	81
5	0	1	0	0	38	2	0	0	0	0	0	5	0	0	0	46
6	10	0	1	1	0	32	0	0	0	0	0	2	0	0	0	46
7	0	1	1	17	2	1	44	0	0	0	0	2	0	0	0	68
8	10	0	1	2	2	2	0	43	0	0	1	2	0	0	0	63
9	3	0	0	0	0	0	1	0	58	0	9	2	0	0	0	73
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0	30
11	0	0	0	0	0	0	0	3	6	0	51	0	0	0	0	60
12	5	0	0	1	0	7	0	0	4	0	0	38	0	0	0	55
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	1	0	19
14	2	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	24	24	0	54
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total $\Sigma X_{ij}$	83	66	68	92	42	68	49	48	72	30	61	54	42	25	0	800

Classificados corretamente ( $\Sigma X_{ij}$ ,  $p/ i=j$ ): 601

Observou-se, através da matriz dos erros, dois tipos de acurácia: a do produtor e a do usuário (TABELA 8). A acurácia do produtor para uma determinada categoria foi expressa pelo número de *pixels* corretamente classificados pelo número total de *pixels* de referência atribuídos a essa categoria. Referiu-se à probabilidade de um *pixel* ou um conjunto de *pixels* de referência ter sido corretamente classificado, computando os erros de omissão ou exclusão (ROSENFELD & FITZPATRIK-LINS, 1986; STORY & CONGALTON, 1986). A acurácia do usuário para uma categoria específica pode ser determinada pela razão do total de *pixels* corretamente classificados pelo total de *pixels* amostrados para essa categoria. Referiu-

se a probabilidade de que um *pixel* ou um conjunto de *pixels* classificados na imagem (mapa) representasse a mesma categoria no terreno, computando aos erros de inclusão ou comissão (HORD, 1976; ROSENFELD, FITZPATRIK-LINS, LING 1982; CONGALTON, 1991).

TABELA 8- Acurácias determinadas para todas classes.

CLASSES	ACURÁCIA DO PRODUTOR %	ACURÁCIA DO USUÁRIO %	COEFICIENTE KAPPA %
1-FOD Submontana	49,40	73,21	70,12
2- FPI Fluvial	92,42	70,11	67,44
3- FPI Fluvio-marinha 1 (mangues)	85,29	93,55	92,95
4- FPI Fluvio-marinha 2 (mangues)	70,65	80,25	77,69
5- FPI Fluvio-marinha 3 (mangues)	90,48	82,61	81,65
6- FDO terras -baixas	47,06	69,57	66,75
7- FPI Fluvio-eólico-marinha (intercordões)	89,80	64,71	62,41
8- FPI Eólico-marinha, não consolidada (cordões)	89,58	68,25	66,23
9-Vegetação alterada	80,56	79,45	77,43
10- Baixios	100	100	100
11- Solo exposto	83,61	85,00	83,77
12-FPI Eólico-marinha , consolidada (restinga)	70,37	69,09	66,86
13- Baía	42,86	94,74	94,45
14- Sombras	96,00	44,44	42,66
<b>Acurácia total</b>	<b>75,19</b>	<b>76,78</b>	<b>73,17</b>
<b>Redução à acurácia da fotointerpretação (88,37%)</b>	<b>66,44</b>	<b>67,85</b>	<b>64,66</b>

A avaliação dos diferentes tipos de acurácia permitiu obter um grau de confiabilidade das categorias classificadas na imagem. Tomando como exemplo a **classe 6** (terras baixas), pode-se verificar na acurácia no produtor, que somente 47% (32/68, TABELA 8) das áreas de terras baixas foram corretamente classificadas como terras baixas. Por outro lado, observou-se na acurácia do usuário, que 69,6% (32/46) das áreas denominadas terras baixas no mapa são na verdade terras baixas. Em outras palavras, apenas 47 % das áreas de terras baixas foram corretamente identificadas como terras baixas. No entanto, 69,6% das

áreas denominadas terras baixas representaram terras baixas no mapa. Uma análise mais cuidadosa na matriz de erros permitiu avaliar uma certa confusão em discriminar terras baixas de submontana e restinga.

Em adição, avaliou-se a acurácia da classificação através do coeficiente *Kappa* (ANEXO 11), que levou em consideração todos os elementos da matriz, incluindo os erros de omissão e inclusão (COHEN, 1960). O cálculo de *Kappa* para cada categoria foi sempre inferior à acurácia do usuário (TABELA 8).

Tomando como exemplo a classe 6 (TABELA 8), observou-se um *Kappa* de 66,7%. Isto significou que 66,7% da amostragem estavam em concordância com os pontos de referência. Por esta razão, *Kappa* também é denominado coeficiente de concordância. Em contra partida, considerando a acurácia do usuário, somente 69,5 % dos *pixels* classificados com terras baixas eram realmente terras baixas.

A acurácia total do mapa é expressa pela razão entre o total de pontos de referência (800) e os pontos corretamente classificados (601),  $(x_{ij}, p/ i=j)$ . Com 95% de certeza a acurácia do mapa ficou no intervalo de 72,02% a 77,89% (HORD & BROONER, 1976), o que pode ser considerada como satisfatória. No entanto, de acordo com ANEXO 9, a acurácia média da fotointerpretação que gerou a matriz de erros foi de 88,37%, o que possivelmente faça com que a acurácia total do mapa tenha um decréscimo de 11,62%.

O *Kappa* total para o mapa foi 73,19% menor que a acurácia total verificada na TABELA 8, pois o seu cálculo levou em conta todos os elementos da matriz de erros e, não somente a diagonal principal e a linha e coluna limítrofes (CONGALTON, 1991). Por esta razão o índice *Kappa* de concordância pareceu ser o mais apropriado na verificação da acurácia das categorias individuais (STORY, CONGALTON, 1986; CONGALTON, 1991).

Considerando-se a acurácia média da fotointerpretação de 88,37%, o índice *Kappa* total seria de aproximadamente 64,66%.

### 4.3 PÓS-CLASSIFICAÇÃO

Apesar da imagem classificada apresentar um *Kappa* geral de 73,2%, algumas classes não possuíam uma acurácia individual satisfatória, como por exemplo a F.O.D. Submontana ( $K = 0,70$ ), F.O.D. das Terras Baixas ( $K = 0,66$ ), Intercordões ( $K = 0,62$ ) e Restinga ( $K = 0,66$ ).

Ao minimizar os erros de omissão e comissão dessas classes, conseqüentemente elevar-se-ia a acurácia das outras categorias envolvidas no processo de classificação pelo método da máxima probabilidade.

A utilização da imagem (FIGURA 19) contendo o modelo digital do terreno, gerado apartir da digitalização das curvas de nível, permitiu desenvolver um algoritmo (ANEXO 12) que reclassificou a imagem de acordo com as altitudes.

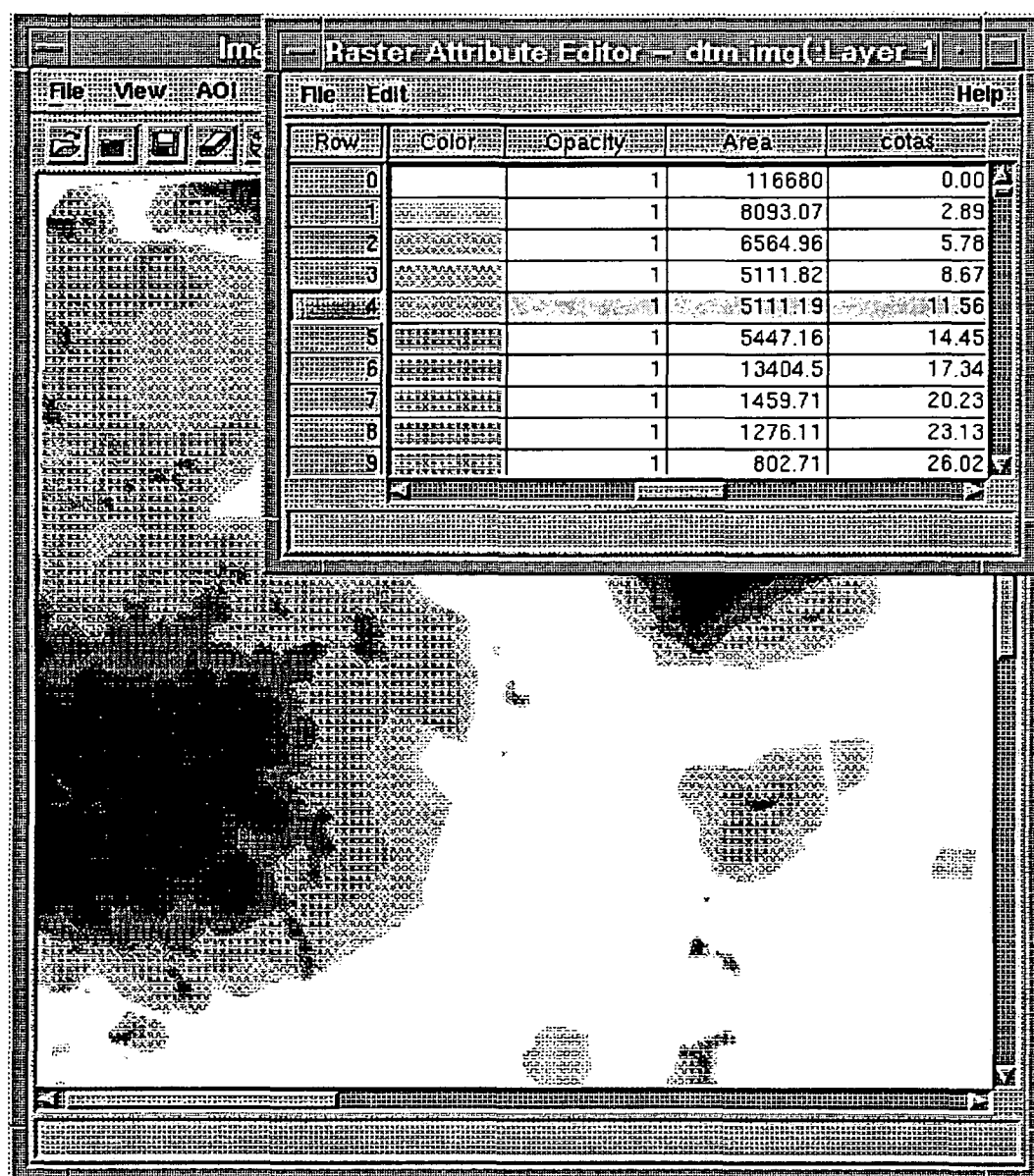
A classe sombra pôde ser eliminada atribuindo a esta o tipo de vegetação correspondente à sua altitude. Foram usados os seguintes intervalos de altitude (RODERJAN & KUNIYOSHI, 1988; IBGE, 1992):

[0 - 50m],	Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas;
[50 - 600m],	Floresta Ombrófila Densa Submontana;
[600 - 733m],	Floresta Ombrófila Densa Montana.

Os *pixels* com altitude superior a 600 metros foram classificados como F.O.D Montana, classe até então não amostrada.

A pós-classificação, etapa final de todo o processo, objetivou minimizar os erros mais grosseiros de classificação. Todavia, não logrou eliminar erros originados da sobreposição de classes espectralmente muito próximas entre si.

FIGURA 19- Imagem temática georeferenciada com as diferentes variações de altitude- MDT (Tela capturada *Erdas Imagine*).



Na FIGURA 20 observa-se a imagem pós-classificada da vegetação que teve como base as variações das altitudes.

FIGURA 20 - Imagem pós-classificada da vegetação.

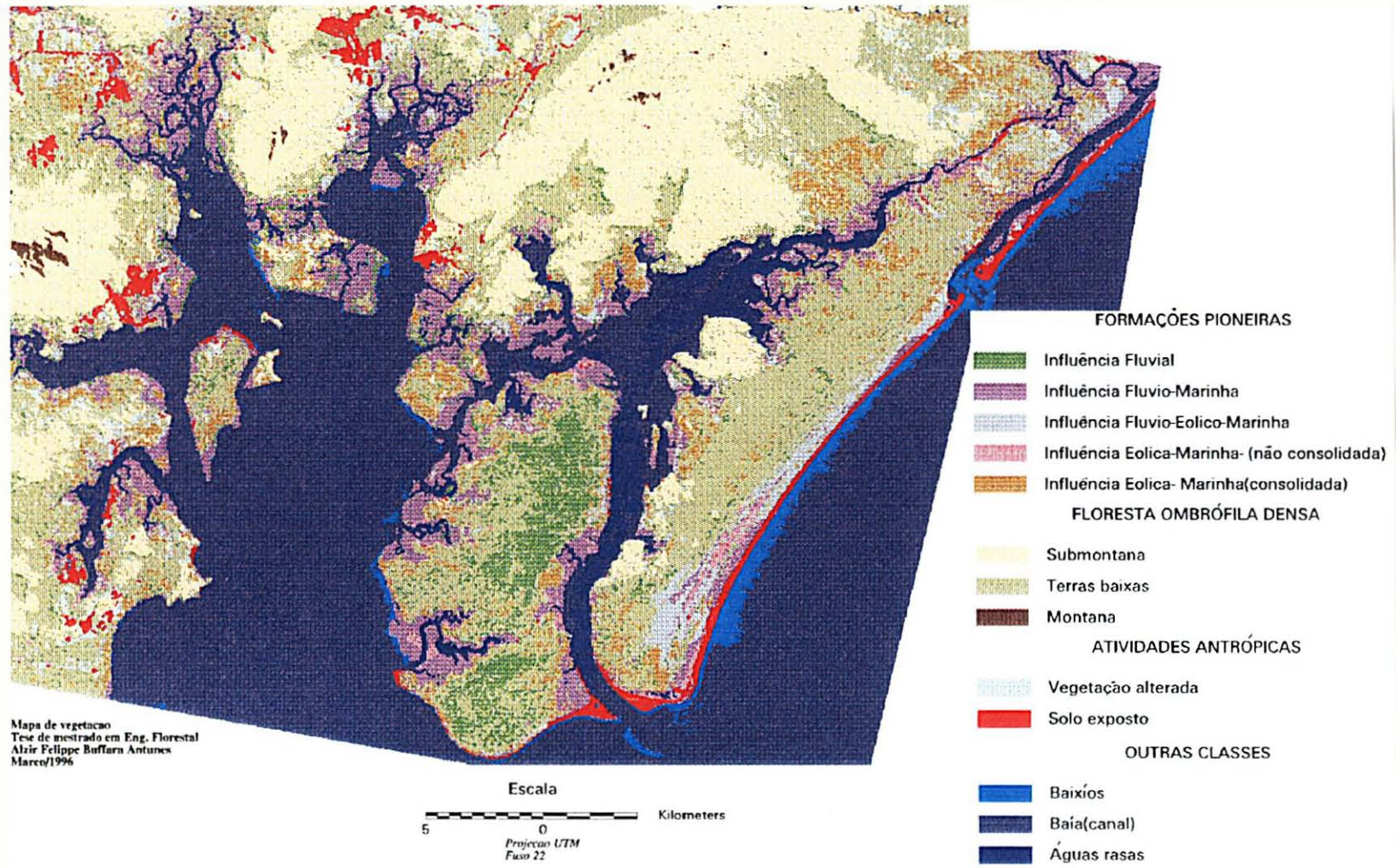
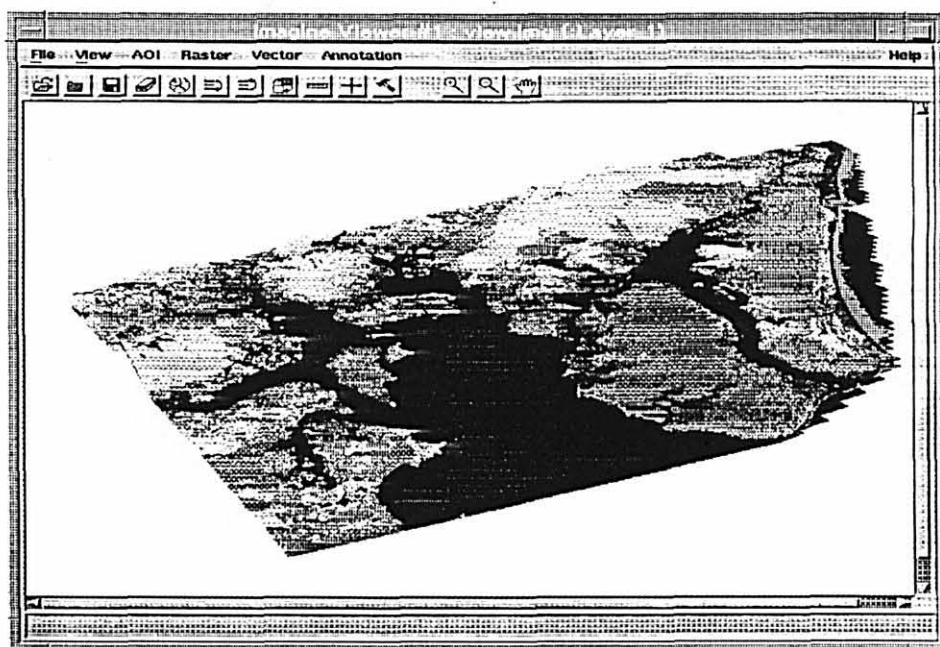


FIGURA 21- Visualização 3D da imagem pós-classificada.

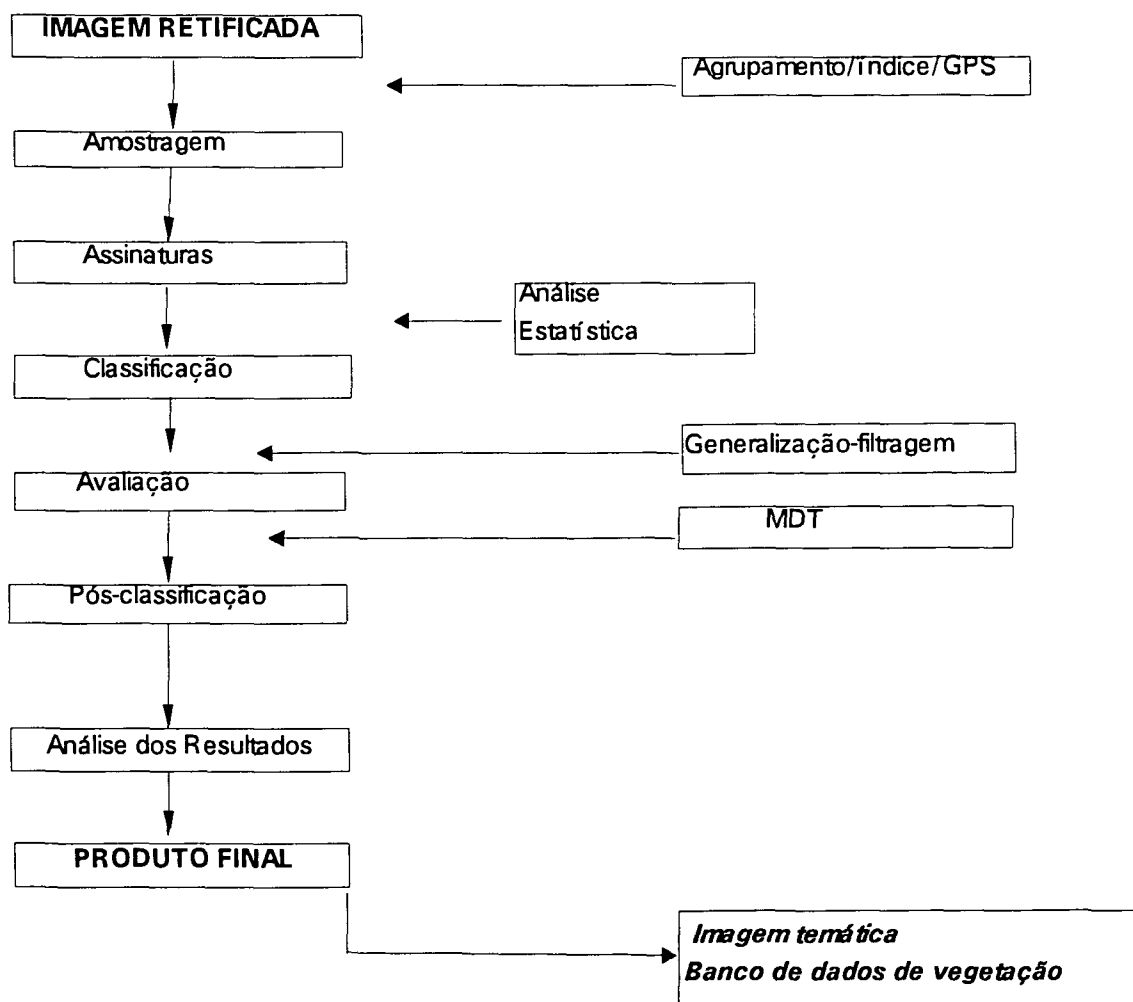


A FIGURA 21 apresenta a mesma imagem sobreposta a superfície de grade regular, gerando uma imagem em 3D. O ponto de vista do observador situou-se a 50 km de altitude, azimute de  $270^\circ$ , e o relevo foi acentuado, multiplicando-se por três os valores das cotas.

A imagem permite verificar a tipologia da vegetação de acordo com a configuração do relevo, principalmente da F.O.D. das Terras Baixas, F.O.D. Submontana e F.O.D. Montana (FIGURA 21). Outras vistas perspectivas poderiam ser obtidas de acordo com a posicionamento do observador em relação ao terreno (azimute, altura e distância).

Todo o processo de classificação supervisionada e pós-classificação adotado pode ser resumido segundo do diagrama de fluxo da FIGURA 22.

FIGURA 22 - Fluxograma do processo de classificação da vegetação.



#### 4.3.1 Avaliação da acurácia da pós-classificação

Na imagem temática pós-classificada (TABELAS 9 e 10) observou-se um expressivo aumento nos índices de acurácia das classes de vegetação se comparadas com as mesmas classes da imagem classificada anteriormente. Os índices de acurácia do usuário e produtor passaram a possuir valores mais próximos para todas as categorias analisadas. Tomando como exemplo a classe 6 (avaliada também no item 4.2.2), verificou-se que 78,41% das áreas de terras baixas foram identificadas como terras baixas, de acordo com os pontos de



referência coletados. Em adição, 92% das áreas de terras baixas no mapa são realmente terras baixas. Houve um decréscimo da confusão entre terras baixas e submontana (TABELA 9).

TABELA 9- Matriz dos erros da Pós-classificação

classes:

1- F.O.D. Submontana, 2- F.P.I. Fluvial, 3- F.P.I. Fluvio-marinha (Mangues1), 4- F.P.I. Fluvio-marinha (Mangues2), 5- F.P.I. Fluvio-marinha (Mangues3), 6- F.O.D das Terras Baixas, 7- F.P.I. Fluvio-eólico-marinha (intercordões), 8- F.P.I. Eólico-marinha (não consolidada), 9- Vegetação Alterada, 10- Baixios, 11- Solo Exposto, 12- F.P.I. Eólico-marinha (consolidada), 13- Baía, 14- Sombras, 15- Canal, 16- F.O.D. Montana.

Classe	Pontos de Referência																Total $\sum X_{ij}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	80	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	83
2	0	59	5	5	1	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	77
3	0	1	51	0	0	0	5	0	0	0	0	3	0	0	0	0	60
4	0	1	0	52	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	58
5	0	1	0	0	55	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	61
6	0	1	2	1	0	69	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	75
7	0	0	7	8	0	4	53	0	0	0	0	1	0	0	0	0	73
8	0	0	0	1	0	0	0	34	1	0	0	3	0	0	0	0	39
9	0	0	0	0	0	2	0	0	53	0	7	0	0	0	0	0	62
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	31
11	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	54	0	0	0	0	0	60
12	0	0	1	1	0	2	1	1	1	0	0	47	0	0	0	0	54
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	30
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00	0	0	00
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	07	0	07
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	34
Total $\sum X_{i.}$	80	63	66	67	56	88	59	37	62	31	61	62	30	00	07	34	804

Classificados corretamente ( $\sum X_{ij}, p/ i=j$ ): 709

TABELA 10- Acurácias determinadas para classes do mapa de vegetação.

CLASSES	ACURÁCIA DO PRODUTOR %	ACURÁCIA DO USUÁRIO %	COEFICIENTE KAPPA %
1-F.O.D. Submontana	100	96,39	95,99
2- F.P.I. Fluvial	93,65	76,62	74,64
3- F.P.I. Fluvio-marinha 1 (mangues)	77,27	85,00	83,66
4- F.P.I. Fluvio-marinha 2 (mangues)	77,61	89,66	88,71

(continuação) CLASSES	ACURÁCIA DO PRODUTOR %	ACURÁCIA DO USUÁRIO %	COEFICIENTE KAPPA %
5- F.P.I. Fluvio-marinha 3 (mangues)	98,21	90,16	89,43
6- F.O.D. Terras -Baixas	78,41	92,00	91,02
7- F.P.I. Fluvio-eólico-marinha	89,83	72,60	70,43
8- F.P.I. Eólico-marinha (não consolidada)	91,89	87,18	86,27
9-Vegetação alterada	85,48	85,48	84,27
10- Baixios	100	100	100
11- Solo exposto	88,52	90,00	89,11
12-F.P.I. Eólico- marinha (consolidada)	75,81	87,04	85,95
13- Baía	100	100	100
15- Canal	100	100	100
16- F.O.D. Montana	100	100	100
<b>Acurácia total</b>	<b>88,18</b>	<b>90,12</b>	<b>87,21</b>
<b>Redução à acurácia da fotointerpretação (88,37%)</b>	<b>77,92</b>	<b>79,64</b>	<b>77,07</b>

Segundo a altitude, a classe de sombras foi totalmente eliminada e reclassificada do seguinte modo: canal (0 m), Formação das Terras Baixas (20 a 50 metros) e Formação Submontana (50 a 600 m). Da mesma forma os *pixels* com altitude superior a 600 metros e pertencentes à classe submontana foram reclassificados como Formação Montana (TABELA 8).

As classes Submontana, Montana e Terras Baixas da Floresta Ombrófila Densa, que espectralmente eram pouco distinguíveis, foram delimitadas com maior exatidão de acordo com as variações altimétricas (FIGURA 21). No entanto, as variações de altitude tiveram pouca significância na distinção dos diferentes tipos de Formações Pioneiras. Alguns

grupos de *pixels* isolados e erroneamente classificados como mangues em regiões próximas às áreas de sombras foram eliminados por se situarem em altitudes superiores a 50 metros. Da mesma forma, *pixels* isolados classificados como Formações Pioneiras de Influências Fluvial, Fluvio-marinha e Fluvio-eólico-marinha (não consolidada) que se situavam em um intervalo altimétrico de 20 a 50 metros, foram reclassificados como F.O.D. das Terras Baixas. Muitos desses *pixels* eram de difícil detecção visual na imagem e exerceram pouca influência na formação da matriz dos erros.

A classe de vegetação alterada que possivelmente poderia ter sido ocultada pelas sombras foram classificadas nomeadamente como Formações Submontana. As classes de vegetação alterada e submontana podem possuir índices de acurácia um pouco menores do que aqueles que foram estimados. Isto se deve ao fato de não ter havido uma verificação no campo do que realmente existia sob as áreas sombreadas (FIGURA 18). Como já foi considerado, o índice *Kappa* total da classificação acumulou erro médio aproximado 11,62 %, de acordo com ANEXO 9. *Kappa* total foi em média 77,07% (incluindo o erro citado).

#### 4.3.2 Verificação de campo

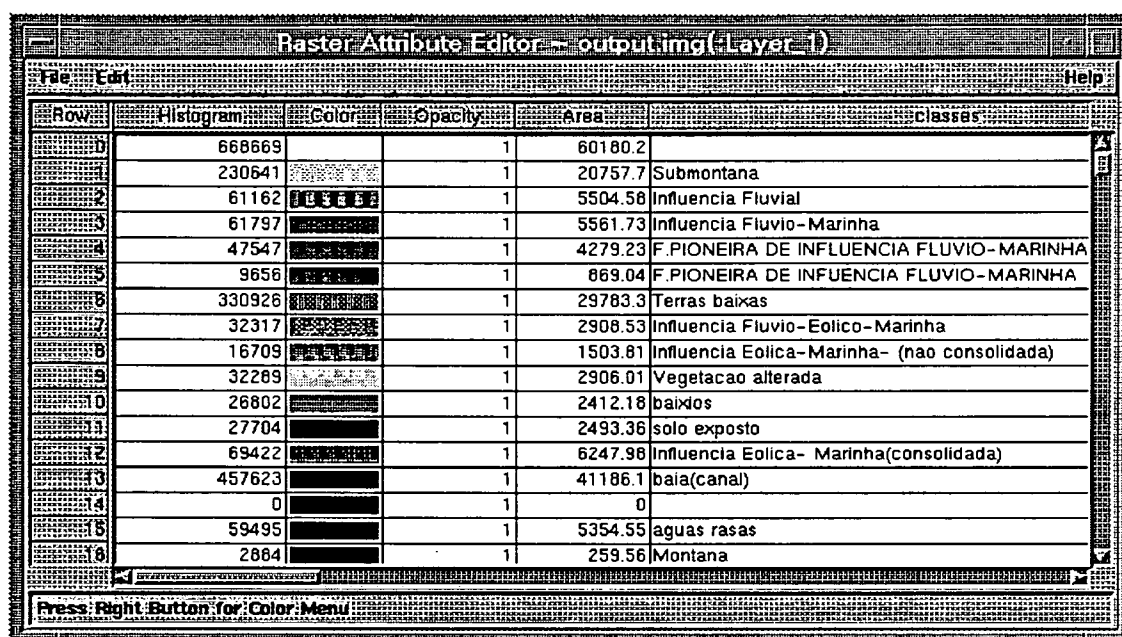
Como já foi exposto, a verificação da acurácia para ambos os mapas de vegetação (classificação e pós-classificação) foram obtidas por fotointerpretação dentro de um intervalo de confiança 95,55% a 81,20 com 95% de certeza (ANEXO 9) o que de certa forma, pode ser suficiente para a escala do levantamento.

A fim de se realizar um análise mais profunda da precisão dos dados classificados, lançou-se mão de levantamentos de campo realizados por JASTER (1995), no período em que foram tomadas as imagens. Efetuou-se, então, uma comparação das

informações levantadas em campo com as informações contidas no arquivo de atributos da imagem pós-classificada (FIGURA 23).

O arquivo de atributos possui um coluna que com as áreas (hectares) das categorias de vegetação (FIGURA 23), permitindo uma avaliação quantitativa das diferentes categorias da Floresta Ombrófila Densa, Formações Pioneiras e demais classes - nomeadamente, solo exposto e vegetação alterada (ANEXO 13).

FIGURA 23- Arquivo de atributos gerado no processo de pós-classificação.



Row	Histogram	Color	Opacity	Area	classes
0	668669		1	60180.2	
1	230641		1	20757.7	Submontana
2	61162		1	5504.58	Influencia Fluvial
3	61797		1	5561.73	Influencia Fluvio-Marinha
4	47547		1	4279.23	F.PIONEIRA DE INFLUENCIA FLUVIO-MARINHA
5	9656		1	869.04	F.PIONEIRA DE INFLUENCIA FLUVIO-MARINHA
6	330926		1	29783.3	Terras baixas
7	32317		1	2908.53	Influencia Fluvio-Eolico-Marinha
8	16709		1	1503.81	Influencia Eolica-Marinha- (nao consolidada)
9	32289		1	2906.01	Vegetacao alterada
10	26802		1	2412.18	baixios
11	27704		1	2493.36	solo exposto
12	69422		1	6247.98	Influencia Eolica- Marinha(consolidada)
13	457623		1	41186.1	baia(canal)
14	0		1	0	
15	59495		1	5354.55	aguas rasas
16	2884		1	259.56	Montana

JASTER (1995) traçou um perfil longitudinal da vegetação, no sentido leste-oeste, entre os pontos de coordenadas UTM: partida (783167,58 ; 7187274,62 m), chegada (779256,06 ; 7189808,74 m). O alinhamento possui aproximadamente 327° de azimute e 4,7 km de extensão, situando-se na porção sul da Ilha do Superagui (FIGURA 24).

Os dados levantados por JASTER (1995) mostraram a interrelação de Formações Pioneiras Eólico-marinhas nos cordões litorâneos e Fluvio-eólico-marinha nos intercordões litorâneos (FIGURA 25).

FIGURA 24- Mapa pós-classificado, porção sul da Ilha do Superagui, com o alinhamento do perfil levantado em campo.

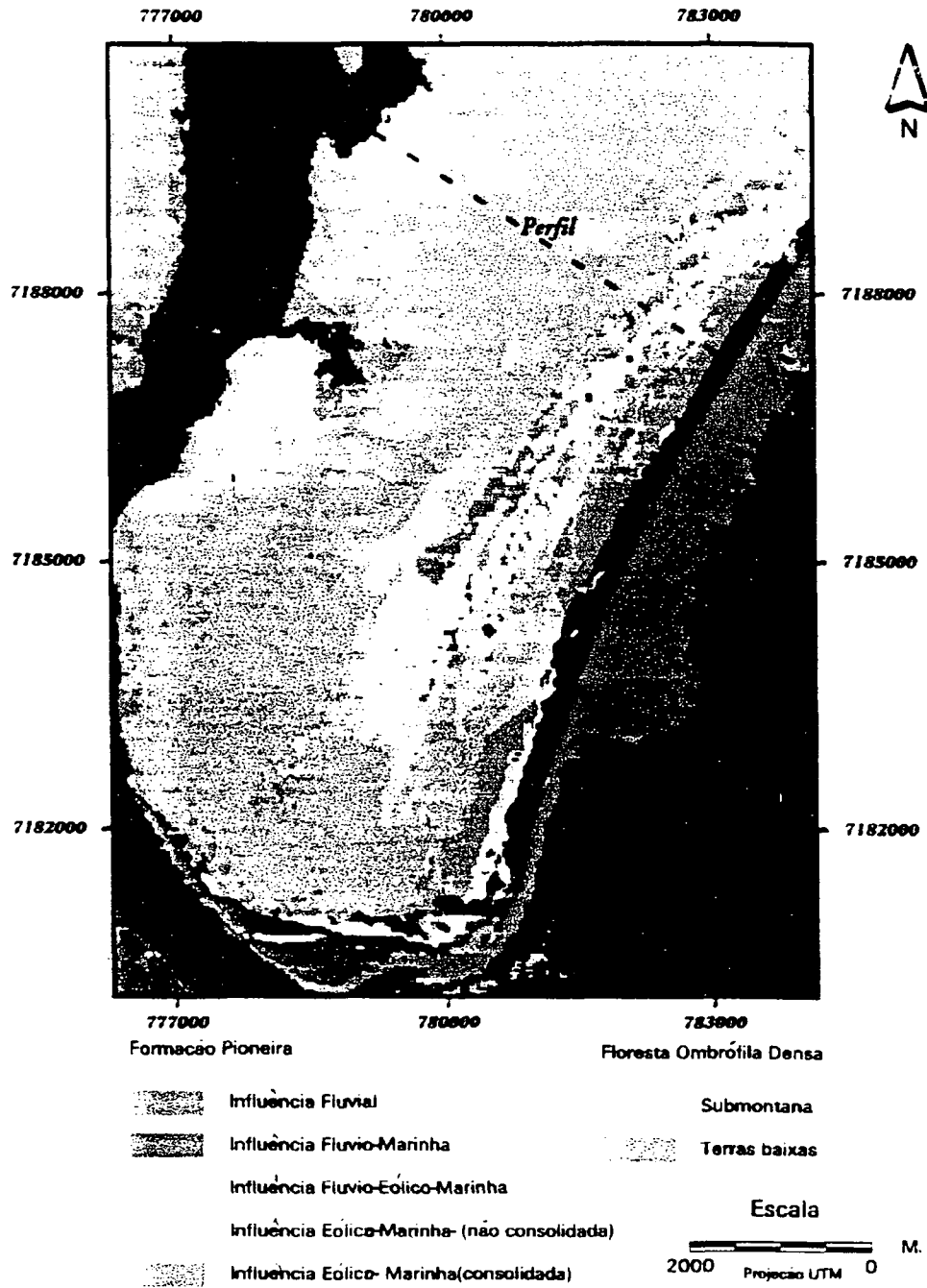
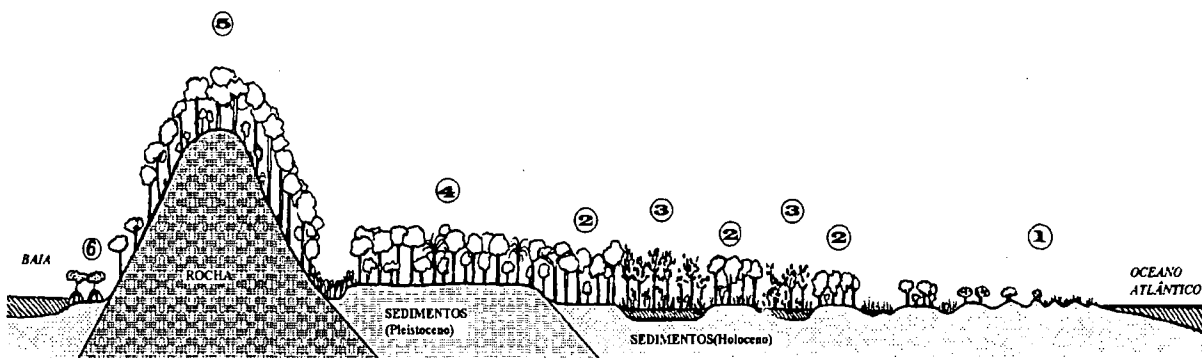


FIGURA 25- Perfil longitudinal da vegetação na Ilha do Superagui, sentido praia-baía (Fonte: JASTER, 1995)

**Legenda:**

- 1-Vegetação de Dunas
- 2-Restingas
- 3-Caxetal
- 4-F.O.D. das Terras Baixas
- 5- F.O.D. Submontana
- 6- Mangues



Os dados coletados por JASTER (1995) puderam ser comparados com os dados da imagem pós-classificada (TABELA 11).

As áreas pantanosas com vegetação pouco consolidada, situadas nos intercordões litorâneos, foram classificadas como manguezais, o que não reflete a realidade. Este erro de classificação foi facilmente detectável, considerando-se a improbabilidade do desenvolvimento de mangues em áreas de influência Eólico-marinha - próximas a praia. Sua correção poderia ser efetuada de forma interativa, através da digitalização de polígonos sobre a imagem. Não obstante, esses erros foram considerados no cálculo da acurácia individual das classes.

A pequena distância espectral entre as diferentes formações pioneiras, a grande diversidade de vegetação ao longo de uma pequena extensão e a escala do

mapeamento, foram os principais fatores das diferenças entre os dados de campo e os verificados na imagem.

Na TABELA 11 constatou-se uma margem de acerto de 88,81% entre o perfil longitudinal de (JASTER, 1995) e os dados observados na imagem classificada.

TABELA 11 - Comparação dos dados de campo com os classificados na imagem (FIGURAS 25 e 25). O perfil inicia próximo à praia Deserta e termina na Baía dos Pinheiros.

Pontos	INTERVALOS DISTÂNCIAS (m)	CATEGORIAS (IMAGEM)	PERFIL (CAMPO)	Acerto
1	0-140	Solo Exposto	Vegetação de Dunas	sim
2	141-321	F.P.I Fluvio-marinha	Restingas e áreas brejosas	não
3	322-676	F.P.I.Eólico-marinha	Restingas e áreas brejosas	sim
4	677-813	F.O.D.Terras Baixas	Restingas e áreas brejosas	não
5	814-1083	F.P.I.Eólico-marinha	Restingas e áreas brejosas	sim
6	1084-1237	F.O.D.Terras Baixas	Caxetal	sim
7	1238-1441	F.P.I.Eólico-marinha	Restinga	sim
8	1442-1700	F.O.D.Terras Baixas	Caxetal	sim
9	1701-1972	F.P.I.Fluvial	Caxetal	sim
10	1973-3801	F.O.D.Terras Baixas	Transição entre Terras Baixas/Restinga	sim
11	3801-4700	F.O.D Submontana	F.O.D Submontana	sim

#### 4.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os procedimentos metodológicos de classificação da vegetação adotados basearam-se em processos convencionais de classificação supervisionada, associados à modelagem altimétrica do terreno. Na ausência da imagem cotada, seria recomendável intensificar os levantamentos de campo a fim de coletar um maior número de amostras que possibilitassem uma melhor distinção espectral entre os vários tipos de vegetação presentes na imagem. A técnica de transformação por componentes principais, citada no capítulo 2, poderia ser útil na distinção de algumas categorias pouco perceptíveis na imagem original ( FUNG & LEDREW, 1987; RICHARDS, 1994).

Quando a interpretação da imagem é utilizada para avaliar a exatidão da classificação, poderão ocorrer erros advindos da má interpretação de algumas categorias. Sugere-se, então, um melhor controle de campo a fim de que a matriz de erros possa ser mais significativa (MEAD, 1982; ROSENFELD, 1982; CONGALTON, 1991). Como já foi mencionado neste capítulo, as áreas sombreadas foram reclassificadas de acordo com o modelo digital do terreno. Seria recomendável um controle de campo das áreas sombreadas, com o objetivo de verificar o grau de exatidão das categorias atribuídas a estas áreas - nomeadamente as classes F.O.D. Submonta e F.O.D. das Terras Baixas. Provavelmente, muitas áreas de solo exposto e de vegetação alterada, que não dependem da variação altitude, não tenham sido computadas. Poderia, então, realizar-se um estudo da variação da acurácia das categorias, levando-se em consideração os erros de *omissão* e *comissão* oriundos da exclusão da classe de sombras.



No caso de um apoio de campo deficitário, seria aconselhável que a escala do mapeamento da vegetação fosse reduzida, o que resultaria numa generalização da informação e conseqüentemente, uma menor precisão espacial e temática.

Análises multitemporais poderiam ser efetuadas a partir da base de dados gerada. Utilizando-se o mesmo modelo digital do terreno, outras imagens poderiam ser classificadas, o que possibilitaria a verificação e quantificação das alterações (ANEXO 13). Desta maneira, os mapas de vegetação poderiam ser atualizados, criando-se um banco de dados espacialmente referenciado em ambiente de Sistema de Informações Geográficas, de acordo com as facilidades e capacidades dos *softwares* utilizados.

## 5 CONCLUSÕES

O presente estudo visou mostrar a alta aplicabilidade do uso de processamento digital de imagem e do modelo digital do terreno na obtenção de dados confiáveis de diferentes tipologias vegetais na APA de Guaraqueçaba. Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- 1) O sucesso da classificação depende da capacidade do analista em perceber as diferentes feições contidas na imagem e interrelacioná-las, por meio de informações coletados em campo (GPS) e mapas de vegetação preexistentes;
- 2) O entendimento das diferentes categorias da Floresta Ombrófila Densa e suas variações espectrais são imprescindíveis à interpretação visual da imagem;
- 3) O processamento digital - eliminação de ruído, retificação e obtenção de índices de vegetação - é fundamental como requisito básico para o processo de classificação da imagem; o processamento realizado mostrou a necessidade de ambiente de *software* e *hardware* com um maior número de funções e capacidades;
- 4) A combinação de procedimentos de classificação supervisionada associadas à classificação não supervisionada é de grande utilidade na seleção de áreas de treinamento mais homogêneas e estatisticamente significativas;
- 5) Alguns erros de classificação da vegetação são provenientes das respostas espectrais muito próximas entre algumas categorias (mangues, restingas, florestas das terras baixas e submontana);
- 6) O conhecimento das altitudes é uma das formas mais convenientes para aprimorar os resultados obtidos da classificação supervisionada da vegetação;

- 7) O uso do MDT (modelo digital do terreno) mostrou ser uma ferramenta eficaz na reclassificação da vegetação de acordo com as altitudes, possibilitando eliminar com sucesso o sombreamento da imagem. Além disso, constatou-se um significativo aumento dos índices de acurácia de todas as categorias classificadas;
- 8) A digitalização das curvas de nível a partir de cartas topográficas 1: 50.000 foram suficientes para a criação da modelagem altimétrica da área de estudo;
- 9) A geração da matriz de erros da classificação da vegetação associada ao cálculo do coeficiente *Kappa*, de concordância foi muito importante para a validação das informações temáticas geradas;
- 10) As informações alfanuméricas obtidas, tais como tipo: de vegetação, área e dados estatísticos, podem ser convenientemente utilizadas na formação de banco de dados georeferenciados.

## **ANEXOS**

ANEXO 1- Pontos de controle para georeferenciar a imagem *Landast TM5* na área da APA (PYE, HENSHE e EVANS, 1994).

PONTOS GPS	Norte-Utm	Leste-Utm	Altitude	Descrição dos Pontos
1-090lagui	7180729,71	779758,12	9,04	Limite da vegetação baixa e a maré no encontro entre o rio e o mar.150 metros da ponta sul da Ilha do Superagui.
2- AGREF	7180586,64	779709,37	7,49	Ponto de Referência para o anterior Limite da vegetação e o lado sul do Rio Porção sul da Ilha do Superagui
3- GRK2BATU + 404ROAD	7207111,85	773978,55	2,51	Interseccção entre a PR 404 e estrada do Batuva.
4- GRK2BATU BAT101 RIOACIMA	7220547,26	780897,60	24,11	Bifurcação entre na estrada 277m ao norte da vila de Batuva.
5- TAGAPT1	7208067,88	756128,54	4,30	Meio da face norte da ponte sobre o rio Tagaçaba, próximo a vila de Tagaçaba.
6- TAGAPT2	7198880,61	727032,50	10,52	Interseccção entre a estrada PR405 e PR 370, lado norte da bifurcação.
7- TAGAPT3	7184631,90	726054,43	-0.34	Centro de um círculo de grama de 16 m de diâmetro na interseccção entre as estradas PR408 e PR340
8- TAGAPT4	7213634,95	713705,58	806,50	BR-116 limite norte do reservatório de Capivari. Ponto na parte norte, do setor esquerdo da ponte limítrofe com a estrada.
9- TAGAPT5	7221813,04	731335,95	622,70	Final sul do lago de 1.6 ha próximo S. Sebastião. Limite sudoeste onde o rio deixa o lago.100m ao norte da BR116.
10- TAGAPT6	7244035,26	779222,58	583,06	Limite sudeste do contorno de 250 m que ligam as pistas dupla da BR 116. Centro de uma faixa de grama
GAPT7	7224352,51	742628,48	627,97	Ponto de Referência- Limite norte da ponte de 66 m na BR 116 que cruza no reservatório próximo ao Rio do Cedro.
GUARAMAP	7199452,93	768825,01	-3,09	Ponto de referência- Final da rua principal na praça, no cais defronte a baía. Centro de Guaraqueçaba.

Coordenadas UTM(Sistema Universal de Mercator), fuso 22, SAD 69, meridiano central 51°W.

## ANEXO 2- Amostras GPS

Amostras de pontos GPS para mapeamento do uso do solo e classificação da vegetação levantados por PYE, HENSHE & EVANS (1994). Os pontos abaixo relacionados serviram para a seleção das áreas de treinamento no processo de classificação supervisionada da vegetação.

Fonte: U.S Forest Service, 1994

<b>PONTO</b>	<b>CLASSES</b>	<b>Leste UTM E</b>	<b>Norte UTM N</b>
1	pastagem	766387	7217160
2	pastagem	749677	7211141
3	pastagem	775914	7209139
4	pastagem	771995	7209699
5	pastagem	760145	7211935
6	capoeira	752960	7208220
7	capoeira	765949	7216856
8	capoeirinha	762473	7215651
9	capoeira	723572	7195546
10	capoeira	766113	7210215
11	capoeira	778236	7213588
12	solo urbano	756102	7207990
13	solo urbano	724610	7194910
14	solo urbano	768835	7199422
15	mangue	771229	7198533
16	mangue	773221	7199681
17	mangue	778486	7180930

<b>PONTO</b>	<b>CLASSES</b>	<b>Leste UTM E</b>	<b>Norte UTM N</b>
18	mangue	773957	7195107
19	mangue	769451	7197489
20	espartina	778673	7180383
21	espartina	780161	7180689
22	restinga	769771	7201245
23	restinga	770765	7199008
24	restinga	777451	7181331
25	restinga	778369	7181081
26	praia dunas	776909	7181540
27	praias dunas	782329	7185639
28	floresta primária	772999	7199319
29	floresta primária	772654	7199254
30	floresta primária	772870	7199067
31	floresta primária	785620	7201111
32	retirada da vegetação	759006	7211653
33	várzea	759993	7212446
34	várzea	727952	7198734
35	capoeirinha	762473	7215651
36	capoeirinha	752960	7208220
37	capoeirinha	755949	7216856
38	floresta secundária	778416	7192853
39	floresta secundária	742812	7207165

<b>PONTO</b>	<b>CLASSES</b>	<b>Leste UTM E</b>	<b>Norte UTM N</b>
40	floresta secundária	772321	7199460
41	floresta secundária	772316	7199384
42	capoeirão	764040	7216680
43	capoeirão	778236	7213588
44	capoeirão	766113	7210215
45	capoeirão	767094	7210278

*Coordenadas UTM (Sistema Universal de Mercator), fuso 22, SAD 69, meridiano central 51°W.*



## ANEXO 3- Processamento da imagem: operações aritméticas e *clustering*.

### 1- Operações

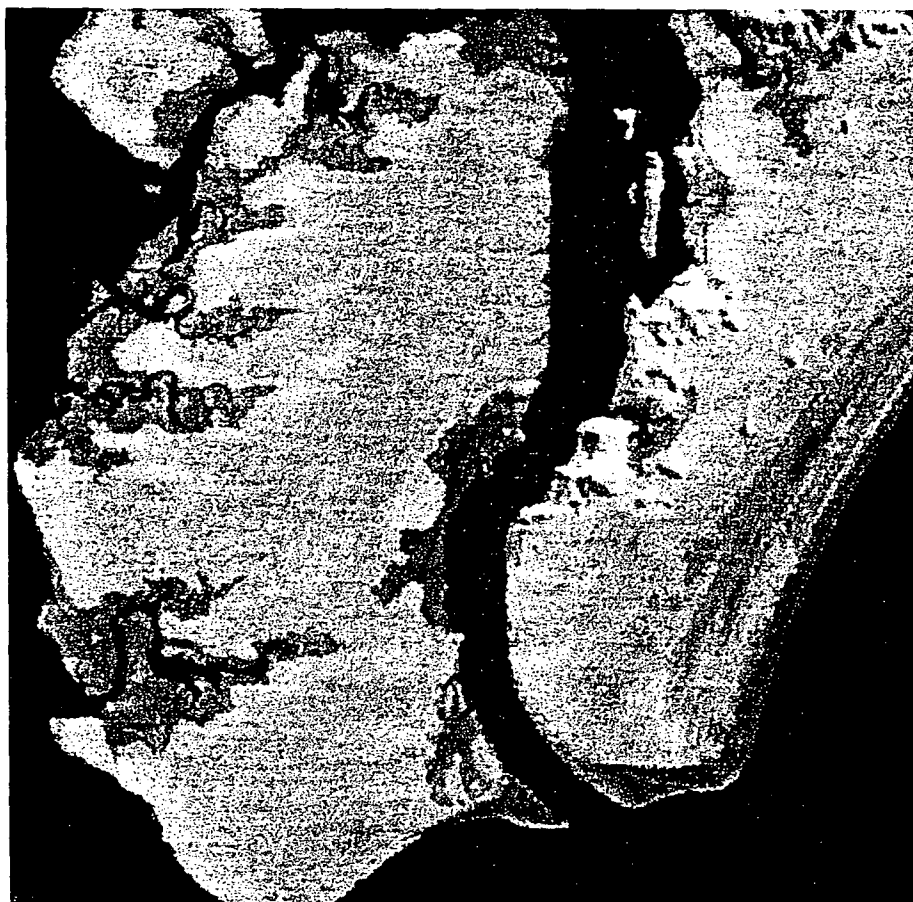
A fim de que as imagens resultantes das operações (banda 4 / banda 3) e (banda 4 - banda 3) representassem a diferença de refletância entre as bandas 3 e 4, foi necessário minimizar o efeito do espalhamento atmosférico presente na banda 3 do sistema *Landsat*.

Segundo JANSEN (1986) & RICHARDS (1992), o efeito do espalhamento atmosférico, que ocorre na faixa do espectro visível e acresce aos *pixels* um valor constante de *DNs* às bandas 1, 2 e 3. O brilho para cada uma dessas bandas fica alterado. Este efeito é resultante do caminho da radiância na atmosfera.

Na banda 3 a correção do espalhamento da atmosférico foi feita pelo método da subtração do *pixel* escuro (SABINS, 1978; CRÓSTA, 1992). Sabe-se que o valor dos *DNs* dos *pixels* em águas profundas (ex.: Canal do Superagui) deveria ser zero para todas as bandas. Verificou-se, no entanto, que na banda 3 o valor médio (*DNs*) desses *pixels* eram 30 (ao invés de zero ou próximo de zero). Subtraiu-se, então, o valor constante 30 para os *pixels* dessa banda, atenuando-se assim o efeito de espalhamento.

A FIGURA 1 mostra a composição colorida RGB das imagens: (banda 4 / banda 3), (banda 4 - banda 3) e banda 5. As classes de mangues, restingas, cordões litorâneos e solos expostos aparecem bem evidenciadas. Os solos expostos aparecem na cor vermelha viva, os cordões litorâneos em laranja, o manguezal em marrom, a floresta de influência fluvial em tons de cinza e a restinga em tons azulados.

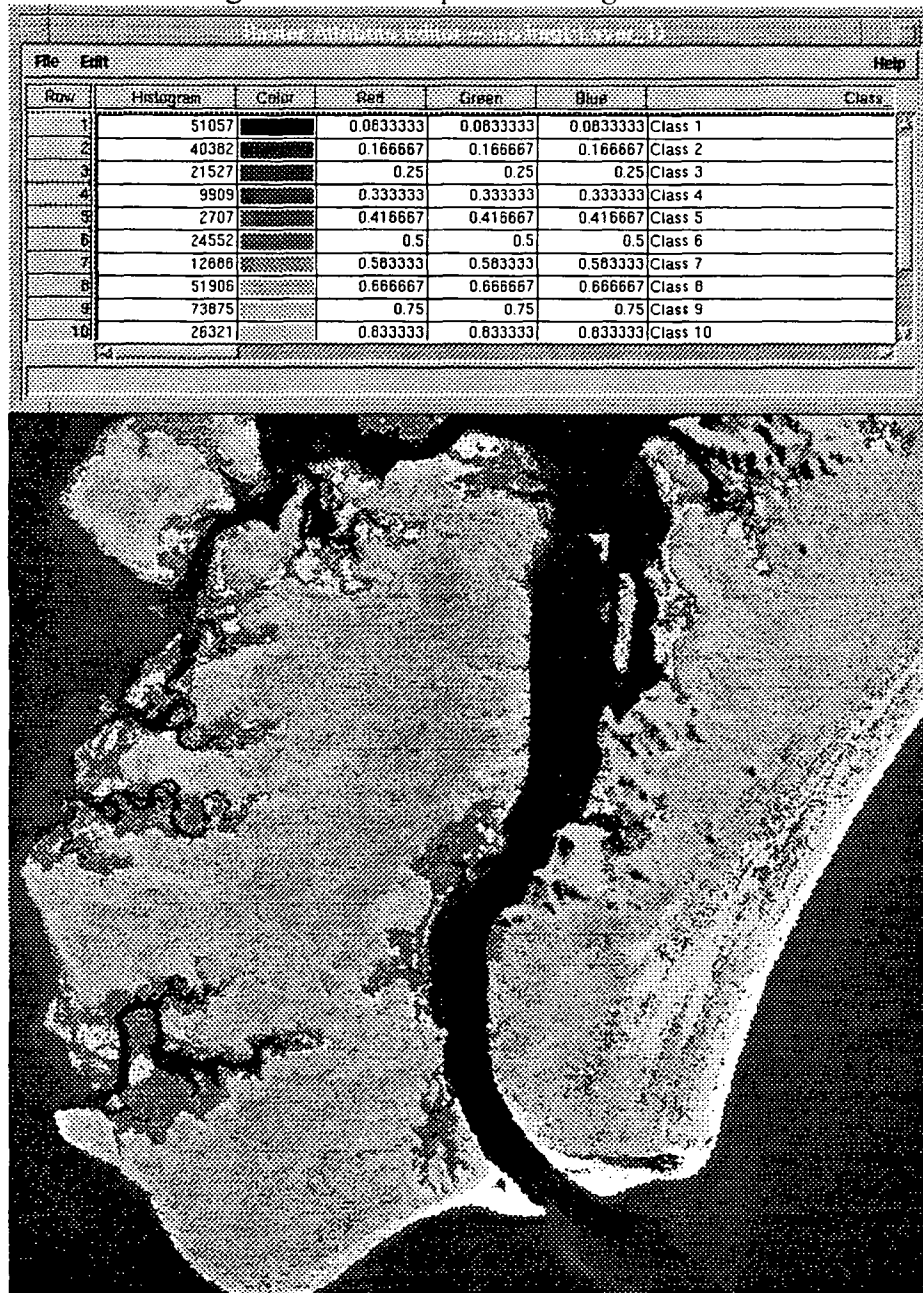
FIGURA 1- Imagem de índice de vegetação- ilhas das Peças e Superagui.



## 2- Clustering (classificação não-supervisionada)

O grupo ou nuvens de *pixels* foi automaticamente identificado e usado como áreas de treinamento para classificação. Na imagem da FIGURA 2 foi gerado um arquivo de atributos com 20 classes que puderam ser selecionadas interativamente pelo usuário.

FIGURA 2 - Imagem classificada por *clustering* ou *isodata*.



#### ANEXO 4 - Modelo Digital do Terreno

O modelo digital do terreno *MDT* consiste numa metodologia de *hardware*, *software* para coleta, processamento e representação de dados de uma determinada superfície, de forma a representar digitalmente um conjunto de pontos que mais fielmente se aproxime da forma real desta superfície (ESRI, 1991; ANTUNES, 1993; CAMARA, 1996).

As curvas de nível digitalizadas em escala 1:50.000 de cartas do IBGE serviram como fonte de dados para se gerar o *TIN* (*triangulation interpolation network*). O *TIN* representa superfícies contínuas, com apenas um valor de *Z* (cota) para cada par de coordenadas UTM *X,Y*.

Os principais formatos de dados são os modelos triangulares de pontos e grade. O modelo de grade é uma matriz composta por células com valor constante de *Z*.

Os valores de *Z* para a superfície são densificados através de processos de interpolação. Os diferentes métodos de interpolação dependem dos objetivos do aplicativo e da estrutura dos dados de entrada.

No caso das curvas de nível, a interpolação foi feita em redes triangularizadas. A triangulação é o processo pelo qual o plano *X* e *Y* dos dados é dividido em triângulos. A interpolação para se obter superfícies suavizadas é atingida quando se considera a geometria dos triângulos adjacentes. A equação dessa interpolação é denominada bilinear, é dada por um polinômio de 5º grau em *X* e *Y*, sendo  $Z = f(X, Y)$ .

Após a criação do *TIN*, foi determinado uma cobertura de hipsométrica ou mapa de altitude no *software ARC-INFO*. O mapa de altitudes, assim obtido, foi convertido em formato de imagem, para ser processado no *software ERDAS*. Tal imagem serviu de base no processo de pós-classificação da vegetação, uma vez que cada *pixel* estava relacionado a uma coordenada *Z*.

A imagem pode ainda ser ajustada à superfície que contém as cotas. Isto permite que seja gerado vistas perspectivas que possibilitam verificar a variação da vegetação em relação ao relevo (FIGURA 1). Na FIGURA 2 pode-se observar as curvas de nível digitalizadas que deram origem ao modelo altimétrico do terreno.

FIGURA 1 - Vista perspectiva da área de estudo. Altitudes exageradas e 5 vezes. Observador visando a baía de Guaraqueçaba.

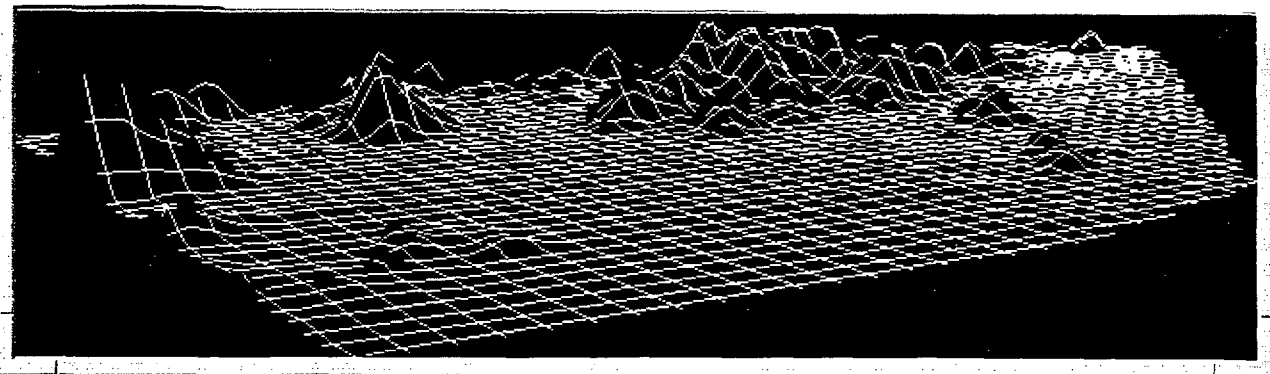
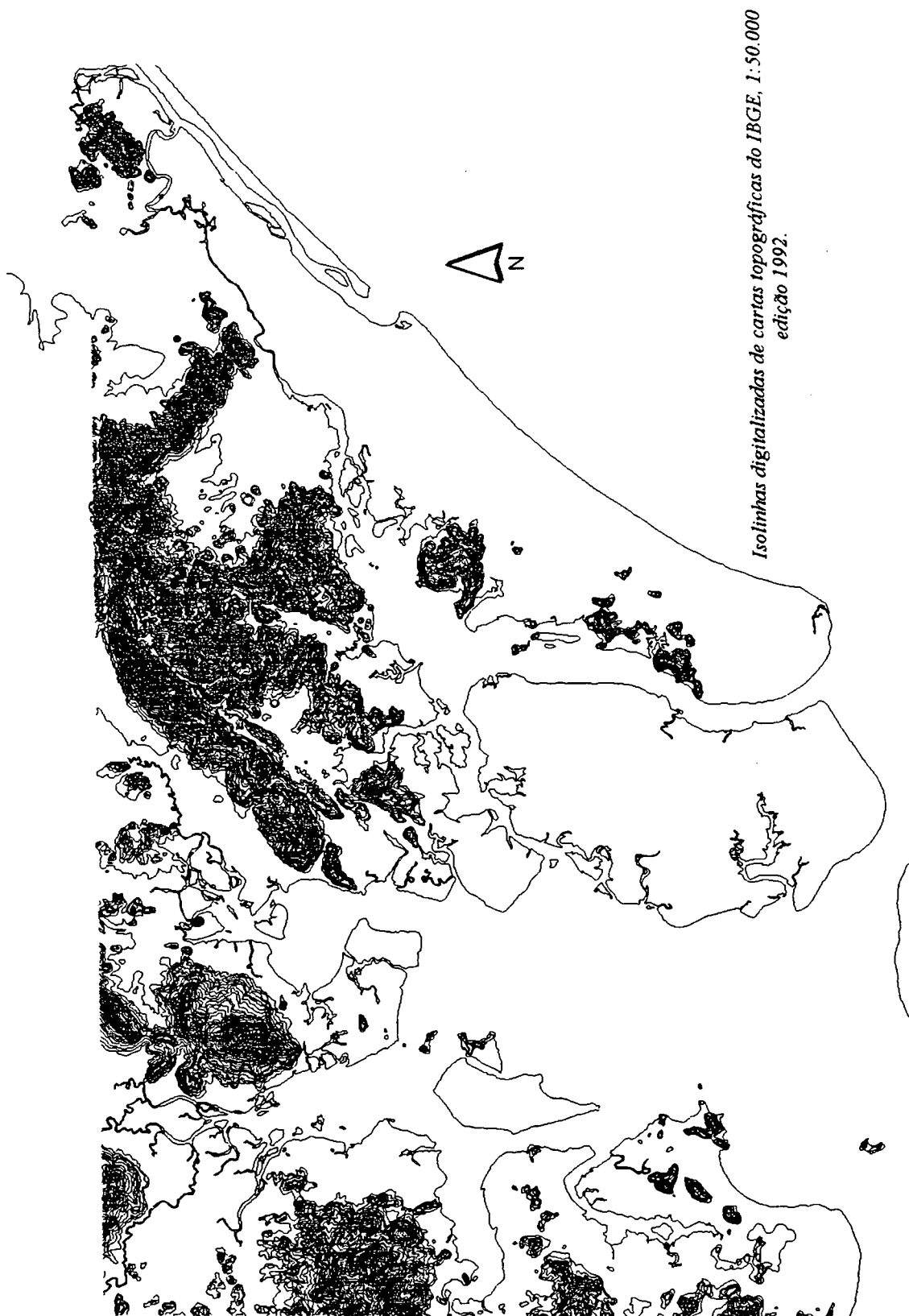


FIGURA 2- Curvas de nível digitalizadas das cartas do IBGE.



ANEXO 5- Estatística e matriz variância-covariância para quatro bandas espectrais das 11 principais assinaturas (ERDAS, *imagine 8.1*)

**1-Assinatura: F.P.I Fluvio-marinha(mangue 1)**

Número de Pixels: 47

estatística

matriz variância-covariância

Banda	Min	Max	Média	DP	Bandas	2	3	4	5
2	98	176	135,	14,9	2	222,4	53,7	-3,4	50,5
3	90	165	112,7	13,6	3	053,7	184,6	13,4	53,0
4	111	131	120,4	05,3	4	-3,4	13,5	28,1	5,0
5	98	150	116,8	12,1	5	50,5	53,0	5,0	146,7

**2-Assinatura: F.P.I. Fluvio-marinha(mangue 2)**

Número de pixels: 54

estatística

matriz variância-covariância

Banda	Min	Max.	Media	DP	Banda	2	3	4	5
2	58	78	73,5	0,4	2	70,4	1,9	-17,9	3,5
3	45	105	79,2	14,7	3	1,9	215,8	-9,5	18,7
4	115	131	120,7	04,9	4	-17,9	-9,5	23,9	9,3
5	52	104	80,5	11,7	5	3,5	18,7	9,3	137,3

**3-Assinatura: F.P.I Fluvial**

Numero de pixels: 50

estatística

matriz variância-covariância

Banda	Min	Max.	Media	DP	Banda	2	3	4	5
2	9	78	60,0	7,2	2	52	-1,2	-2,8	-2,6
3	5	90	60,6	13,9	3	-1,2	192,5	21,0	8,5
4	123	156	138,2	6,2	4	-2,8	21,0	38,7	16,6
5	1	121	104,1	7,9	5	-2,6	8,5	16,6	63,8

**4-Assinatura: F.O.D Terras Baixas**

Numero de pixels: 29

estatística

matriz variância-covariância

Banda	Min	Max.	Media	DP	Banda	2	3	4	5
2	58	78	66,2	10,0	2	100,5	-12,9	8,1	16,2
3	45	105	67,6	16,3	3	-12,9	267,1	31,7	31,6
4	135	180	153,7	08,2	4	8,1	31,7	68,1	6,0
5	121	162	133,9	11,0	5	16,2	31,6	6,0	121,1

**5-Assinatura: F.P.I. Fluvio-marinha( mangue3)**

Numero de pixels: 53

estatística

matriz variância-covariância

Banda	Min	Max	Med	DP	Banda	2	3	4	5
2	78	117	091,5	13,2	2	175,1	20,3	6,6	-18,5
3	60	120	101,0	08,9	3	20,4	79,2	-1,5	0,97
4	94	106	101,6	02,6	4	6,6	-1,5	6,9	-7,3
5	81	133	105,8	10,2	5	-18,5	0,97	-7,3	104,7

**6-Assinatura: F.P.I Fluvio-marinha(intercordões)**

Numero de pixels: 58

estatística

matriz variância-covariância

Banda	Min	Max.	Media	DP	Banda	2	3	4	5
2	78	176	133,7	18,9	2	357,3	73,8	-9,9	41,0
3	75	120	105,5	9,3	3	73,8	86,6	7,1	22,1
4	143	172	158,4	6,7	4	-9,8	7,1	45,3	-6,9
5	127	162	139,6	9,5	5	41,0	22,1	-6,9	90,3

**7-Assinaturas: F.P.I Marinha(cordões)**

Numero de pixels: 26

estatística

matriz variância-covariância

Banda	Min	Max	Med	DP	Banda	2	3	4	5
2	78	156	100,3	22,6	2	511,1	84,0	106,2	-117,5
3	90	195	152,3	24,6	3	84,0	606,2	102,7	216,2
4	82	123	98,3	9,6	4	106,2	-102,7	092,2	-109,4
5	121	208	178,6	19,4	5	-117,5	216,2	109,4	379,6

**8-Assinatura: solo exposto**

Numero de pixels: 116

estatística

matriz variância-covariância

Banda	Min	Man	Med	DP	Banda	2	3	4	5
2	117	255	201,6	33,6	2	1127,	785,01	166,5	90,0
3	150	255	223,3	29,4	3	785,0	864,2	70,8	63,4
4	86	180	137,1	15,0	4	166,5	70,8	225,1	38,2
5	185	255	251,4	9,9	5	90,0	63,4	38,2	97,6

**9-Assinatura: Vegetacao Alterada**

Numero de pixels: 37

estatística

matriz variância-covariância

Banda	Max	Min	Med	DP	Banda	2	3	4	5
2	98	196	161,5	21,5	2	463,1	242,6	101,0	116,0
3	90	165	119,2	21,7	3	242,7	474,3	143,9	112,3
4	180	230	207,1	12,3	4	101,0	143,9	151,7	75,6
5	173	226	196,8	13,3	5	116,0	112,3	75,6	176,8

**10-Assinaturas: F.P.I Marinha(restingas)**

Numero de pixels: 85

estatística

matriz variância-covariância

Banda	Min	Max	Med	DP	Banda	2	3	4	5
2	58	98	79,2	7,7	2	59,8	1,2	0,3	-16,9
3	45	105	73,9	14,8	3	1,2	221,2	21,8	-20,7
4	168	209	184,9	8,1	4	0,3	21,8	65,0	-30,5
5	104	156	130,1	13,1	5	-16,9	-20,7	-30,5	172,6

**11-Assinatura: F.O.D. Submontana**

Numero de pixels: 27

estatística

matriz variância-covariância

Banda	Min	Max	Med	DP	Banda	2	3	4	5
2	78	117	89,8	12,5	2	157,6	33,3	53,2	9,8
3	60	105	99,4	11,1	3	33,3	123,7	61,2	-51,4
4	180	234	212,8	13,9	4	53,2	61,2	192,0	126,7
5	173	255	220,2	19,7	5	9,8	-51,4	126,7	389,5

## ANEXO 6 - Elipses e Histogramas

### A - Elipses para algumas assinaturas

As elipses são um traçado espectral de duas dimensões (par de bandas). Na FIGURA 1 as elipses das assinaturas se sobrepõem e os *pixels* contidos na intersecção não podem ser distinguíveis. O valor central de cada elipse é dado pela média dos *DNs* de cada assinatura. A distribuição das nuvens de *pixels* é orientada pelos eixos *x, y* bandas 4 e 5, respectivamente.

FIGURA 1- Elipses para bandas 4 e 5 (Tela capturada *Erdas Imagine*).

- 1- Solo Exposto
- 2- Vegetação Alterada
- 3- F.O.D. das Terras Baixas
- 4- F.P.I. Fluvial
- 5- F.P.I. Fluvio-marinha.

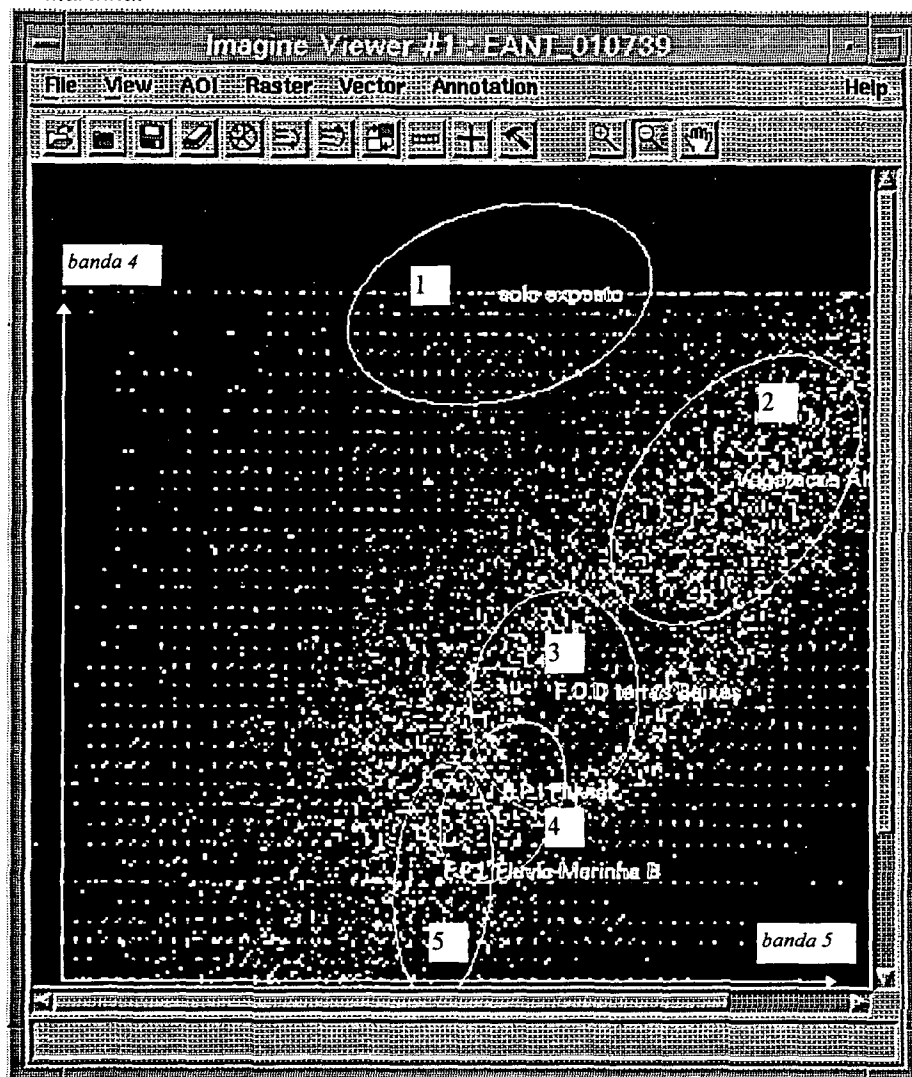
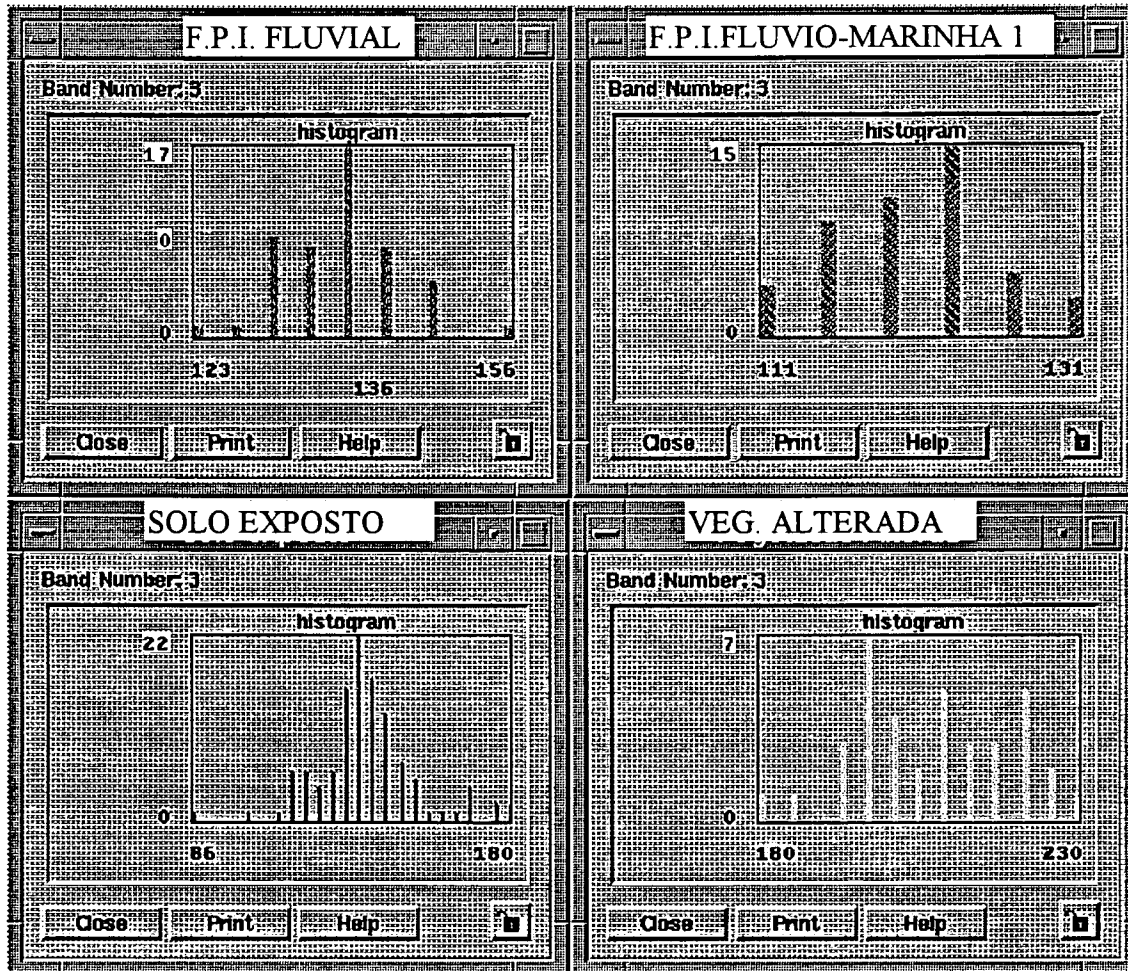


FIGURA 2- Histograma das assinaturas de : Formação Pioneira de Influência Fluvial, Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha 1, Solos Expostos e Vegetação Alterada. Referentes a banda 4, *layer 3* no *Erdas* (Tela capturada: *Erdas Imagine*).





ANEXO 7- As matrizes de Separabilidade e Contigência para as assinaturas de vegetação utilizadas na classificação supervisionada (Fonte: *Erdas Imagine 8.1*, 1996).

**Matriz separabilidade**

<i>Assinaturas</i> <i>Distância</i>	1:2 79	1:3 94	1:4 91	1:5 51	1:6 45	1:7 84	1:8 187
<i>Assinaturas</i> <i>Distância</i>	1:9 121	1:10 95	1:11 147	2:3 37	2:4 64	2:5 42	2:6 96
<i>Assinaturas</i> <i>Distância</i>	2:7 127	2:8 258	2:9 174	2:10 82	2:11 169	3:4 35	3:5 63
<i>Assinaturas</i> <i>Distância</i>	3:6 96	3:7 131	3:8 261	3:9 165	3:10 58	3:11 146	4:5 72
<i>Assinaturas</i> <i>Distância</i>	4:6 78	4:7 116	4:8 238	4:9 136	4:10 35	4:11 112	5:6 79
<i>Assinaturas</i> <i>Distância</i>	5:7 90	5:8 223	5:9 157	5:10 92	5:11 160	6:7 92	6:8 117
<i>Assinaturas</i> <i>Distância</i>	6:9 81	6:10 69	6:11 107	7:8 148	7:9 130	7:10 128	7:11 133
<i>Assinaturas</i> <i>Distância</i>	8:9 143	8:10 223	8:11 186	9:10 117	9:11 78	10:11 98	

Bandas: 2,3,4,5

Separabilidade Média: 118

Separabilidade Mínima: 35

Separabilidade Máxima :261

Classes: 1- F.P.I Fluvio-marinha 1, 2- F.P.I. Fluvio-marinha 2, 3- F.P.I. Fluvial, 4- F.O.D. Terras-Baixas,5- F.P.I. Fluvio-marinha 3; 6- Intercordões(F.P.I.F.M), 7- Cordões(F.P.I.M), 8- Solo exposto, 9- Vegetação Alterada, 10- Restinga (F.P.I.M), 11- F.D.O.Submontana.

Classes mais próximas entre si: Formação terras baixas e Formação pioneira de influência fluvial, Formação terras baixas e Restingas.

Classes mais afastadas entre si: Formação pioneira de influência fluvial e Solo exposto, Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha B e Solo exposto.

**Matriz de contingência**

classes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	total
1	46	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	48
2	0	53	2	0	0	0	0	0	0	0	0	55
3	0	1	48	0	0	0	0	0	0	0	0	49
4	0	0	0	28	0	1	0	0	0	1	0	30
5	0	0	0	0	53	0	0	0	0	0	0	53
6	0	0	0	0	0	57	0	0	0	0	0	57
7	0	0	0	1	0	0	24	2	0	0	0	27
8	0	0	0	0	0	0	0	114	0	0	0	114
9	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	1	37
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	84	0	85
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	26	27
total	47	54	50	29	53	58	26	116	37	85	27	582

## ANEXO 8 - Generalização da informação: análise de vizinhança

Um filtro passa-baixa (*low frequency*) pode ser usado para eliminar ruídos na imagem classificada. À janela (3x3) foi atribuído o valor da classe em maioria. Eliminando assim os pixels isolados (FIGURA 1).

FIGURA 1- Os *pixels* da janela (a) são heterogêneos; já a imagem submetida ao filtro (b) passou a ter apenas o valor majoritário.

a)

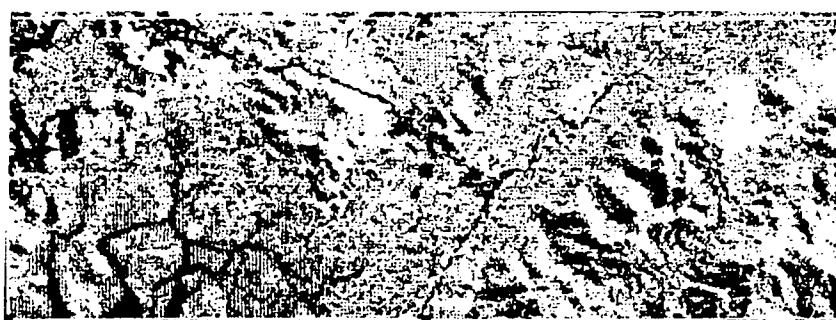
5	5	3
5	5	2
1	5	5

b)

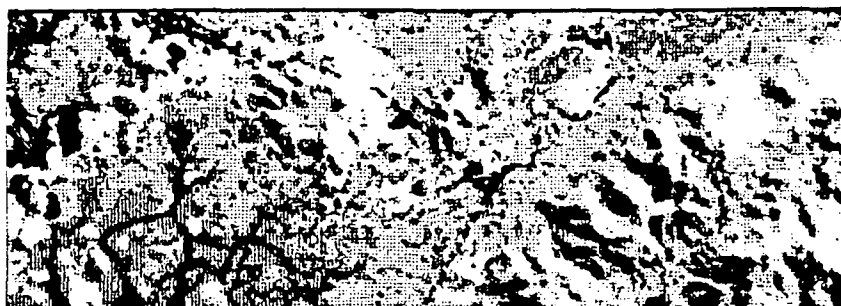
5	5	5
5	5	5
5	5	5

O resultado do processo de filtragem é uma imagem mais generalizada (FIGURA 2).

FIGURA 2 - Imagens antes e após o processo de filtragem. Filtro 3x3, de maioria.



A)  
Imagem  
Classificada



B)  
Imagem  
Filtrada

## ANEXO 9- Acurácia da fotointerpretação

Segundo HORD & BROONER (1976), sem a verificação de campo a acurácia de uma imagem classificada não pode ser avaliada. Desta forma, um procedimento de amostragem deve ser efetuado para estimar a acurácia da classificação. CONGALTON (1991) sugere que pontos de referência, amostrados em campo, devam ser escolhidos aleatoriamente (sem reposição). O tamanho da amostragem varia de acordo com a área e o número das categorias envolvidas. No entanto, recomenda-se que o número mínimo de pontos ou polígonos amostrados deva ser de aproximadamente 50.

À estimativa de acurácia deve-se associar o intervalo de confiança em que a mesma está inserida. O intervalo de confiança depende do tamanho da amostragem. Quanto maior a amostra, menor o intervalo, dentro de certa probabilidade de certeza.

HORD & BROONER (1976) e RICHARDS (1994), apresentaram a expressão do cálculo do intervalo de confiança para uma amostra  $n$ :

$$p\{-Z_{\alpha/2} < x - n\theta / \sqrt{n\theta(1-\theta)} < Z_{\alpha/2}\} = 1 - \alpha$$

onde:

$x$  é o número de pixels corretamente identificados;

$n$  é o tamanho da amostra;

$\theta$  é a acurácia total da identificação  $x/n$ ;

$1-\alpha$  é o limite de confiança.

Determinou-se a acurácia da fotointerpretação de uma amostra de 47 pontos coletados em campo por GPS (PYE, HENSHE & EVANS, 1994) e por mapa topográfico do IBGE. As amostras foram coletadas de forma aleatória para um conjunto de categorias (mangues, solo exposto, vegetação alterada, submontana, floresta aluvial e restingas).

Visto que a amostragem possuía mais que 30 pontos, considerou-se a distribuição normal dentro de uma certeza 95%.

No caso em questão teve-se:

$n= 47$  (pontos amostrados);

$x= 43$  (pontos corretamente identificados);

$\theta=0,91$  (probabilidade de acerto);

$Z_{\alpha/2}= 1,96$  (tabelado)

$\alpha = 0,05$  (limite de confiança)

Isolando  $\theta$ , tem-se:  $(x + 1,921 \pm 1,96\sqrt{(x(n-x) / (n + 0,96))}) \div (n + 3,842)$ , substituindo os valores de  $n$  e  $x$  obtense-se  $\theta$  para o seguinte intervalo de confiança (ic):

$$\theta_{ic} = 44,92 \pm 1,92 \sqrt{(43(47 - 43) / 47,96)} / 50,84 ;$$

$$\theta_{ic} = (44,92 \pm 3,64) / 50,84$$

Como resultado, conclui-se que a acurácia da fotointerpretação está compreendida num intervalo de confiança de [95,55 , 81,20%] com 95% de certeza. Sendo que ,  $\theta = x/n = 91\%$  está compreendido neste intervalo (OTT 1995). A acurácia média ( $\theta_m$ ) é dada pelo valor central do intervalo, que neste caso é 88,37 %.

ANEXO 10 - Alguns pontos de referência gerados aleatoriamente no *software ERDAS* para a verificação da confiabilidade da imagem pós-classificada.

Na coluna *Class* observam-se as categorias na imagem classificada e na coluna *Reference* a categoria dos pontos de referência. Dos 25 pontos abaixo relacionados, nota-se que dois pontos de referência não concordam com a imagem classificada (pontos: 13 e 17).

Point#	Name	X	Y	Class	Reference
1	ID#1	790927.500	7199794.000	6	6
2	ID#2	795427.500	7204324.000	6	6
3	ID#3	789547.500	7204444.000	1	1
4	ID#4	760777.500	7209994.000	6	6
5	ID#5	780697.500	7190494.000	6	6
6	ID#6	779767.500	7190194.000	1	1
7	ID#7	763897.500	7205554.000	1	1
8	ID#8	772267.500	7187134.000	6	6
9	ID#9	769627.500	7198924.000	4	4
10	ID#10	764197.500	7208524.000	1	1
11	ID#11	784237.500	7190284.000	7	7
12	ID#12	770827.500	7190164.000	6	6
13	ID#13	759247.500	7197724.000	2	3
14	ID#14	757927.500	7191394.000	3	3
15	ID#15	784417.500	7192864.000	6	6
16	ID#16	789997.500	7199044.000	6	6
17	ID#17	765727.500	7199104.000	6	3
18	ID#18	777397.500	7201414.000	6	6
19	ID#19	756577.500	7203754.000	6	6
20	ID#20	778057.500	7182964.000	6	6
21	ID#21	771607.500	7202824.000	1	1
22	ID#22	782227.500	7190524.000	6	6
23	ID#23	789007.500	7196344.000	6	6
24	ID#24	778207.500	7182664.000	3	3
25	ID#25	794077.500	7205074.000	11	11

ANEXO 11- Coeficiente *KAPPA*

Segundo COHEN (1960), o coeficiente *Kappa* mede o grau de concordância em escalas nominais assumindo que :

- as unidades são independentes;
- as classes ou categorias da escala nominal são independentes e mutuamente exclusivas;
- o classificador e os pontos de referência operam de forma independente.

O coeficiente *Kappa* considera todos os elementos da matriz de erros (TABELAS 6 e 8) ao invés de apenas aqueles que se situam na diagonal principal da mesma, como no caso dos índices de acurácia do produtor e do usuário (CONGALTON, 1991).

COHEN (1960) define *Kappa* como um coeficiente de concordância para escala nominal que mede a proporção de concordância, depois que a concordância atribuída à casualidade é retirada de consideração. *Kappa* pode ser expresso por:

$$(1) K = (P_o - P_c) / (1 - P_c), \text{ onde:}$$

$P_o$  é a proporção de unidades (pontos de referência) que concordam;

$P_c$  é a proporção de unidades (pontos de referência) que concordam ao acaso.

$P_o$  para toda a matriz de erros é dado pela razão do somatório da diagonal principal ( $\sum X_{ii}$ ) pelo número total de observações.  $P_o$  pode ser traduzido pelo índice observado.  $P_c$  é expresso pelo somatório do produto dos elementos das linhas e colunas marginais ( $\sum X_{i+} + X_{+i}$ ) pelo número total de observações ao quadrado.  $P_c$  traduz a proporção de elementos atribuídos a determinada classe ao acaso (COHEN, 1960).

HUDSON & RAMM (1987) baseados em COHEN (1960), apresentaram a seguinte expressão para o cálculo do coeficiente *Kappa* de concordância de uma determinada matriz de erros:

$$(2) K = N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} * X_{+i} / \left( N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} * X_{+i} \right)$$

onde,

$N$ , é o número total de observações (pontos de referência);

$X_{ii}$ , é número de observações para cada elemento da coluna  $i$  e linha  $i$ , respectivamente (elementos da diagonal principal);

$X_{+i}, X_{i+}$ , são o total de observações na coluna  $i$  e linha  $i$  respectivamente;

$r$ , número de linhas da matriz.

Para fins computacionais, a expressão poderia ser simplificada da seguinte forma:

$$(3) P_o = \sum_{i=1}^r X_{ii} / N ;$$

$$(4) P_c = \sum_{i=1}^r X_{i+} * X_{+i} / N^2, \text{ sendo } Kappa = (P_o - P_c) / (1 - P_c),$$

Nas matrizes de erros da TABELAS 6 e 8, o valor positivo de *Kappa* sugere que o valor observado de concordância é maior que a chance de concordância ao acaso. O valor  $K = 1$  ocorre quando houver total concordância entre os pontos de referência e as categorias classificadas (COHEN 1960).

Segundo BISHOP, FEINBERG & HOLLAND (1975), *Kappa* pode ser determinado para categorias individuais por meio da seguinte expressão :

$$(5) K_i = (NX_{ii} - X_{i+}X_{+i}) / (NX_{i+} - X_{i+}X_{+i}), \text{ onde:}$$

$N$  é número total de observações;  
 $X_{i+}$  total da linha para categoria  $i$ ;  
 $X_{+i}$  total da coluna para mesma categoria  $i$ .

Tomando como exemplo a TABELA 6, calculou-se o valor total de *Kappa* para matriz dos erros e o seu valor para a categoria 1, como se segue abaixo.

a- *Kappa* para matriz de erros

sejam,  $N = 800$  (número total de pontos de referência);

$$\sum X_{ii} = 601 \text{ (diagonal principal)}$$

$$\sum X_{i+}X_{+i} = 49554 \text{ (marginais)}$$

Conforme as fórmulas (3) e (4), tem-se:  $P_o = 0,75125$ ;  $P_c = 0,0774$ , substituindo em (1)  
 $K = 0,731$  ou  $73,1\%$

b- *Kappa* para classe 1 (F.O.D.Submontana)

Utilizando a expressão (5) tem-se:

$$N = 800$$

$$X_{ii} = 41 \text{ (corretamente classificados)}$$

$$X_{i+} = 56 \text{ (total de pontos de referência, linha)}$$

$$X_{+i} = 83 \text{ (total de pontos atribuídos, coluna)}$$

$$X_{i+} X_{+i} = 56 * 83 = 4648$$

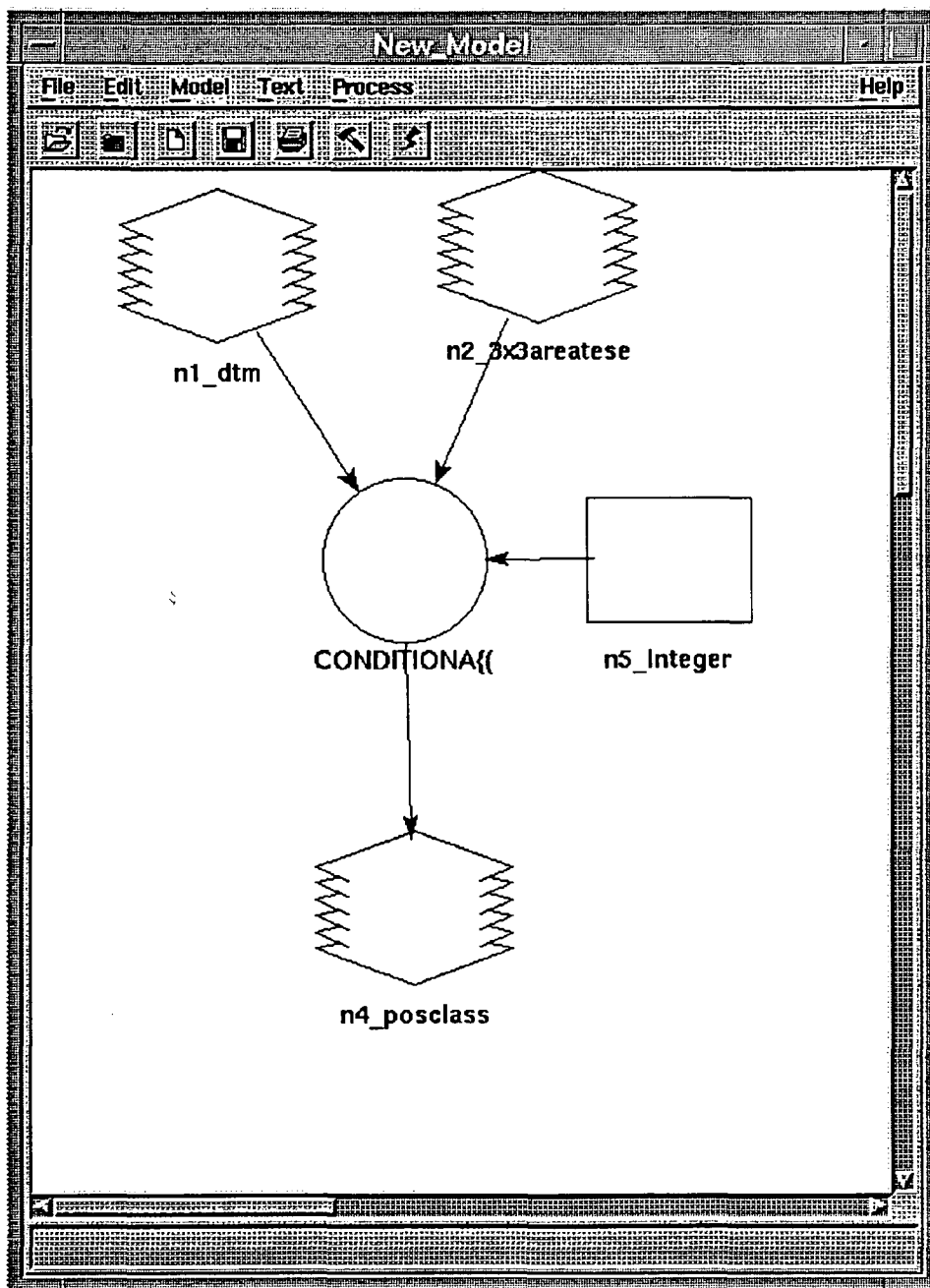
$$\text{substituindo em (5) } K_1 = 0,7011 \text{ ou } 70,11\%$$

## ANEXO 12- Algoritmo de pós-classificação

O módulo *Spacial modeler* da versão 8.1 do *ERDAS Imagine* possibilitou desenvolver fluxogramas onde foram, identificados as relações lógicas, os dados de entrada e de saída (FIGURA 1).

Os dados de entrada foram submetidos a condições específicas que permitiram reprocessá-los obtendo-se assim outras informações de interesse.

FIGURA 1: tela capturada do *ERDAS/IMAGINE 8.1*, com o diagrama de fluxo, e os comandos que condicionam os pixels da imagem 3X3AREA\_TESE.img (arquivo com a imagem classificada) imagem DTM.img. A imagem de saída é POSCLAS.img.



ANEXO 13- Quantificação da cobertura vegetal apartir da imagem pós-classificada de julho de 1993.

VEGETAÇÃO	ÁREA (Ha)	PORCENTAGEM %
F.O.D Submontana	20.758	24,95
F.O.D Terras baixas	29.783	35,83
F.O.D Montana	260	0,32
F.P.I. Marinha*	10.660	12,82
F.P.I. Fluvio-marinha**	10.710	12,88
F.P.I Fluvial	5.562	6,69
Vegetação Alterada	2.906	3,50
Solo Exposto	2.494	3,00
<b>TOTAL</b>	<b>83.133</b>	<b>100</b>

\* Inclui Eólico-marinha- (não consolidada) e Eolico-marinha(consolidada);

\*\* inclui Influência Fluvio-eólico-marinha



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, B. J.; KAPS, V.; SMITH, M., ALMEIDA, F. R; GELLESPIE, A. & ROBERTS, A.D. *A new landsat view of land use in Amazonia*. Proceedings International Symposium on Primary Data Acquisition. Manaus, ISPRS, Vol 28, p.177-185. 1990.
- ADRIAN, P. M. *The use of earth resources satellites in the development of Latin America*. In: CARTER, W.D & ENGMAN, T. E. *Advance in Space research- Remote sensing from satellites*. Vol4, nº11. p.37-39, 1984
- ALVES, D. S; MOREIRA, J; KALIL, E; SOARES O. F.; ALMEIDA, S.; ORTIZ, J; AMARAL, S. *Mapeamento do uso da terra em Rondônia utilizando técnicas de segmentação e classificação de imagens TM*. Salvador: Anais em CD, VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE. Abril, 1996.
- ANGULO, R. J. *Variações na configuração da linha de costa no Paraná nas últimas décadas*. Curitiba :Boletim Paranaense de Geociências, UFPR, nº42 . p.185-202, 1984.
- ANGULO, R. J. *Geologia da planície Costeira do Estado do Paraná*. Tese de Doutorado. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1988.
- ANTUNES, A. F. B. *Desenvolvimento de aplicativos baseados em modelo digital do terreno na área do projeto piloto do município de São José dos Pinhais*. Monografia Curso de especialização em geoprocessamento, UFPR, 1993.
- ANTUNES, A. F. B. *Curso introdutório de ERDAS IMAGINE 8.1*. CIEG, notas de aula, 1994.
- ANTUNES, A. F. B. & QUINTAS, M. C. L. *Varição na configuração da linha de costa entre 1986 a 1993 no Canal do Superagui, litoral Norte do Paraná através de imagens Landsat*. Salvador-BA: trabalho aceito congresso de Geologia, 1996.
- ANTUNES, A. F. B. & MULLER, V. Y. *Uso do SIG no estudo de impacto ambiental do ecoturismo na APA de Guaraqueçaba*. Curitiba: Anais GIS Brasil 94, Ed. Sagres. p .22-25, 1994.
- BARRETT, E. C.; CURTIS, L. *Introduction to environmental remote sensing*. Londres:Chapman & Hall, 1992.
- BAUER, M. E.; BURK, T.; STEPHEN, L. D.; WALSH, T; WALTERS, D. K; BEFORT, W.; HEIZEN, D. *Satellite inventory of Minnesota forest resources*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol3, nº3, p. 287-306. 1994.

- BIGARELLA, J. J. *Contribuição ao estudo da planície litorânea do Estado do Paraná*. Curitiba: Arq. Biol. Tecn. 1: 75-111, 1946.
- BIGARELLA, J. J. et al. *Natureza dos sedimentos de fundos das baías de Paranaguá e Antonina*. Curitiba: Revista do Instituto de Biologia e Pesquisas Tecnológicas, nº15, p.30- 33, 1970.
- BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; MATOS, D. J & WERNER, A. *A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná. Um problema de segurança ambiental e nacional*. Governo do Paraná, ADEA, 1978.
- BISHOP, Y. M. M.; FEINBERG, S.; HOLLAND, P. W. *Discrete Multivariate analysis-theory and practice*. Cambridge: Mit Press. 1975
- BLANQUET, J. B. *Fitosociologia base para el estudio de las comunidades vegetales*. Madrid: H.Blume Ediciones, 1979.
- BUDGE, A. M. & MORAIN, S. A. *Access remote sensing data for GIS*. GIS World, vol.8,nº2, p. 45- 49. 1995.
- BURROUGH, P. A. *Principles of Geographical Information System for Land Use Assessment*. Oxford :Claderon Press, 3º ed. 1991.
- CAMARA, G. *Geoprocessamento para aplicações em meio ambiente*. Salvador: Apostila . VII Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto. INPE, 1996.
- CHUVIECO, E. & CONGALTON, R. *Using cluster analysis to improve the selection of training statistics in classifying remotely sensed data*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, nº9, p.1275-1281, 1988.
- COHEN, J. *A coefficient of agreement for nominal scales* Educational and Psychological Measurment. Vol XX, nº1, p.37-46. 1960.
- CONGALTON, R.; ODERWALD, R.; MEAD, A. R. *Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques.*, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol 49, nº 12 .p 1671-1678. 1983.
- CONGALTON, R. *A review of assessing the accuracy of classification remotely sensed data*. Remote sensing of environment, USA, nº 37, p.35-36. 1991.
- CONGALTON, R & GREEN, K. *A practical look at sources of confusion in error matrix generation*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol59, nº5, p 641-644. 1993
- CRIST, E. P. et al. *Vegetation and soil information in transformed thematic mapper data*. Proceedings of IGARSS 86, p.254, 1986.

- CRAIG, Allen. *Ecological Perspective : Linking Ecology, GIS, and Remote sensing to Ecosystem Management*. In: *Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management*. SAMPLE, U. A. Washington: Island Press; p.111-139, 1994.
- CRÓSTA, A. P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Instituto de Geociências, UNICAMP. Campinas, 1993.
- CURCIO, R. G & GALVÃO, F. *Entrevista cedida a Alzir Felipe Antunes*. Curitiba, 20 de março, 1996.
- CURCIO, R.G.& RACHWAL, M. F. *Principais tipos de solos do Estado do Paraná suas características e distribuições na paisagem*. Colombo: Embrapa-CNP Florestas. 1993. 4p.
- CURRAN, P. J. *Principles of remote sensing* . 5<sup>o</sup>ed. Londres. Longman Scientific & Technical. 1995.
- CURRAN, P. J.; FOODY, M.G. *The use of remote sensing to characterise the regenerative states of tropical forest*. Environmental Remote Sensing from Regional to Global Scales, England, John Wiley & Sons. p.44-83, 1994.
- CURTIS, L. F. *Remote sensing for monitoring crops and vegetation*. Progress in Physical Geography.n<sup>o</sup>2, p.55-79, 1978
- DAINTY, J. C.; SHAW, R. *Image science -principles, analysis and evolution of photographic type imaging process*. London: Academic Press. 1974.
- DRUMMOND, J. *Some transformations for computer assisted cartography*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, The Netherlands, 1987.
- DRURY, S. A. *Image interpretation in geology*. London: Allen & Unwin, 1987.
- EOSAT. *Landsat thematic mapper imagery*. Maryland :Earth observation satellite Company catalogue, 1990.
- ERDAS. *Erdas field guide*. Manual Erdas Imagine 8.1, Atlanta ,1994.
- ERDAS. *Image processing and multivariate analysis*. Manual Erdas Inc, Atlanta. 1991.
- ERDAS. *Image processing tour vista*.Manual Erdas imagine 8.1, Atlanta,1994.
- ERDAS. *Image analysis and spacial modeling*. Manual Erdas version 8.2.Inc, Atlanta, 1995.
- ESRI. *ARC-VIEW II, User's guide*. Environmental System Research Institute,inc. Fort Collins 1994.
- ESRI. *Surface modeling and TIN- ARC-INFO method*. Environmental System Research Institute,inc, Redlands, USA. 1991.

- FULLER, R. M.; GROOM, G. B.; JONES, A. R. *The Land cover map of Great Britain- Automated Classification of Landsat thematic mapper*. Photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 60, nº5, p. 553-562. 1994
- FUNG, T.; LEDREW, L. *Application of Principal components analysis to change detection*. Photogrammetric engineering and remote sensing, nº12, p.1649- 1658. 1987.
- GEMEAL, C. *Introdução ao Ajustamento de Observações- Aplicações Geodésicas*. Curitiba: Editora da UFPR. 1994
- GONZALES, Jessica. *GIS Applications Perspective: Using Remote Sensing and GIS for Modeling Old-Growth Forests*. Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management Island Press, Washington. 1994.
- GONZALEZ, R.C, WINTZ, P. *Digital Image Processing*. Massachussetts: Addison-Wesley Publishing Company inc, 1977.
- HAAK, B.; JAMPOLER, S. *Agricultural classification comparisons using LANDSAT thematic mapper data*. ITC journal-Enschede, NL, nº2.p 113-118. 1993.
- HOFFER, R. M. *Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data*. In: SWAIN, P.H; DAVIS, S.M. *Remote Sensing -The quantitative approach*. san Francisco, MacGraw-Hill, p.227-286. 1988.
- HORD, M. R. *Digital processing of remotely sensed data*. New York : Academic Press. 1982.
- HORD, R. M.& BROONER, W. *Land Use map-accuracy criteria*. Photogrammetric engineering & remote sensing, nº5, p671-677, 1976.
- HUDSON, W. D.; RAMM, W. *Correct formulation of Kappa coefficient of agreement*. Photogrammetric engineering and remote sensing, nº4, p.421-422, 1987.
- IBGE. *Manual técnico da vegetação brasileira*. Série manuais técnicos em Geociências, nº 1.1992a.
- IBGE. *Guaraqueçaba, 1:50000 Folha SG-22-X-D-III-3-MI-2844-* 3.1992b.
- IBGE. *Barra do Superagui, 1:50000 Folha SG-22-X-D-III-4-MI-2844-* 4.1992c.
- IPARDES. *Mapa da Vegetação da APA de Guaraqueçaba-Pr, 1:200000* . Curitiba: Anexo do Diagnóstico ambiental de Guaraqueçaba. 1989.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). *Cartas climáticas do Estado do Paraná*. Londrina-PR, 1994.

- IPARDES. *Diagnóstico ambiental de Guaraqueçaba*. Curitiba: Versão revista do trabalho de macrozoneamento da APA de Guaraqueçaba. 1995.
- IPARDES. *Mapa Macrozoneamento da APA de Guaraqueçaba-Pr 1:200000*. Anexo do Diagnóstico ambiental de Guaraqueçaba. 1989.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R.M. *An introduction to geostatistics*. Oxford University Press, U.K. 1989.
- JANSEN, J. R. *Introductory digital image processing*. New Jersey : Prentice Hall, 1986.
- JASTER, C. *Strukturanalyse einiger waldgesellschaften in dersudbrasilianischen kustenregionim gebiet des immergrunen subtropichen*.Gottigen, Alemanha. 1995. Dissertação de Mestrado, Universidade de Gottigen.
- KLEIN, R. M. *Aspectos dinâmicos da vegetação do sul do Brasil*. Itajaí: Sellowia, 3611: p.5-54. 1984.
- KLOER, B. R. *Hybrid parametric/non-parametric image classification*.ERDAS, Atlanta. 1995.
- KUNIYOSHI, S. Y. *Aspectos Morfo-Anatômicos do caule, raiz e folha de *Tabebuia cassinoides*. em diferentes dases sucessionais no litoral do Paraná*. Curitiba, 1993. Tese de Doutorado, Departamento de Silvicultura e Manejo, Universiade Federal do Paraná.
- LARSEN, R. J., MARX, M. L. *An introduction to mathematical statistics and its applications*. New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Clifffis. 1984.
- LAUER, D. *Production process for extracting information from satellite data* In: DENÉGRE, J. *Thematic mapping from satellite imagery guide book on behalf of international cartographic association* . Pergamon Press. p.32-46, 1994.
- LEITE, P. F. *As diferentes unidades fitoecológicas da região sul do Brasil proposta de classificação*. Curitiba, 1994. Dissertação de Mestrado, Departamento de Silvicultura e Manejo, Universiade Federal do Paraná.
- LEPSCH, Igo. *Solos- Formação e conservação*. São Paulo: Editora Melhoramentos. 1977.
- LIGHT, D. *Characteristics of remote sensors for mapping and earth sciences applications*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, nº.12, p 1613-1623. 1990.
- LO, C. P. *Applied remote sensing*. London: Longman Scientific and Technical, 1986.
- LOOIJEN, J ; PELSİKOTI, N.& STALJAIRSSSENS, M. *A spacial muti- objective decision support system for coastal resource management*. ITC Journal, Enschede-NL. nº 3, p.202-213, 1995.

- MAACK, R. *Geografia Física do Estado do Paraná*. Curitiba: UFPR/Inst. de Biologia e Pesquisas Tecnológicas, 1968.
- MACQUILLAN A.K.& CLOUGH, D. J. *Benefits of spaceborne remote sensing for ocean surveillance*. ESA SP-134, European Space Agency, Paris, p 175-183.1978.
- MARTIN, F. *Étude de l'écosystème Mangrove de la Baie de Paranaguá: Analyse des Impacts et Propositions de Gestion Rationnelle*. Paris, 1992. These de Doctorat . Université Paris VII, UFR Biologie.
- McCLOY, K. *Resource management information system- process and practice*. United Kingdom: Taylor & Francis. 1995
- MEAD, R. A.& SZAJGIN, J. *Landsat classification accuracy -assessment procedures*. Photogrammetric engineering and remote sensing, vol.48, n°1, p.671-677. 1982.
- MEER, F. Van der. *An example of conditional simulation in multiband image analysis*. ITC Journal, Enschede-NL, n° 3, p.229- 240. 1995.
- MONTEGOMERY, G.& SCHUCH, H. *GIS data conversion handbook*. Fort Collins: GIS World, Inc. 1993.
- MULLER, J. P. *Digital Image Processing*. London: Taylor & Francis. 1988.
- NAIZOT, T. *Geographie de la baie de Paranagua. Apport des données satellitaires a l'étude des marais a mangroves*. Paris, 1993. These de doctorat de l'école des hautes études en sciences sociales. Université Paris.
- NAMIKAWA, L. M. *Um método da ajuste de superfícies para grades triangulares considerando linhas características*. In: CAMARA, G. *Geoprocessamento para aplicações em meio ambiente*. Salvador: Apostila . VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE. p. 2-15, 1996.
- NASA. *Earth System Science: a closer viewer*. NASA, Advisory Council Washington, DC, 1988.
- NOVO, E. M. L *Sensoriamento remoto- princípios e aplicações*. São Paulo: Editora Edgard Beucher Ltda, 2º edição. 1993.
- NRSC. *UK National Remote Sensing Centre Data Users*, Farnborough, UK, 1987.
- OTT, W. *Environmental statistics and data analysis*. Lewis Publishers Press,U.S. 1995.

- PYE, J.; ANTUNES, A. F. B. & MULLER, V. Y. *Constructing a vegetation map in the diverse atlantic forest in Brazil*. ISPRS Proceedings of the Workshop on Mapping and Environmental Application of GIS Data. Wisconsin. p.71-78. set 1995.
- PYE, J.; W. HENSHE e K. EVANS. 1994. *Control Points for Georegistering Images of the APA Guaraqueçaba*. Relatório interno, U.S.D.A. Forest Service, North Carolina, USA.
- QUINTANILHA, J. B. *Processamento de imagens digitais*. Anais do Congresso de Geoprocessamento, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p 37-52. 1990
- RICHARDS, A. J. *Remote sensing digital image analysis*. Berlim: Springer- Verlag. 1993.
- RODERJAN C. V. & KUNIYOSHI, Y.S. *Macrozoneamento florístico da área de proteção ambiental APA-Guaraqueçaba*. Curitiba: FUPEF, UFPR, 1988.
- ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K & LING, S. H. *Sampling for thematic map accuracy testing*. Photogrammetric Engineering and Remote sensing, Vol 48, nº1, p 131-137. 1982.
- ROSENFELD, G. H e FITZPATRICK-LINS, K. *A coefficient of agreement as measure of thematic classification accuracy*. Photogrammetric Engineering and Remote sensing, Vol 52, nº2, p 223-227, 1986.
- ROSENHOLM, D. *Land use and vegetation mapping by satellite: SSC satellitbild experiences 1987-1993*. ITC journal- Special issue operational remote sensing- Enschede, NL, nº3. p 251-260, 1993.
- RUTCHEY, K. & VILCHECK, L. *Development of Everglades vegetation map using a Spot image and the global position system*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol 60, nº.6, p 767-775, 1994.
- SABINS, F. F. *Remote Sensing: Principles and Interpretation*. San Francisco: W.H Freeman, 1987.
- SILVA, LeRoy F. *Radiation and Instrumentation in Remote Sensing*. In: SWAIN, P. H; DAVIS, S. M. *Remote Sensing -The quantitative approach*. San Francisco: MacGraw-Hill, p.21-133. 1988.
- SCHOWENGERDT, R. A. *Techniques for image processing and classification in remote sensing*. Academic Press, U.S.1983.
- SOARES, C. R. *Natureza dos sedimentos da superfície de fundo das baías das Laranjeiras e de Guaraqueçaba- Complexo estuarino da baía de Paranaguá-PR*. Rio Claro, 1990  
Dissertação mestrado. Universidade Estadual Paulista(UNESP).
- SPIEGEL, M. R. *Estatística*. Rio de Janeiro: McGrawhill, 3ª edição, 1993.

- STEFANOVIC, P. *Digital Terrain Model*. Enschede. International Institute of Earth Sciences (ITC), Enschede-NL. Apostila. 1990.
- SPVS. *Plano Integrado de Conservação para a Região de Guaraqueçaba, Paraná, Brasil*. Vol.I. Curitiba, Paraná. 83 p. 1992.
- STORY, M & CONGALTON, R. *Accuracy assessment: a user's perspective*. Photogrammetric engineering and remote sensing, vol 52, nº3. p379-399. 1986.
- SWAIN, P.H. *Fundamental of patterns recognition in remote sensing*. In: SWAIN, P.H.; DAVIS S.M. *Remote Sensing -The quantitative approach*. S.Francisco: MacGraw-Hill.p.137-186, 1988.
- UNWIN, D. *Introductory spacial analysis*. London: Methuen, 1981.
- UNIVERSITY OF FLORIDA. *Satellite imagery, pattern deliniation and cooperative mapping of land cover*.GAP, analysis Project. Internet. 1995.
- USDA, FOREST SERVICE. *Guidelines of the use of digital imagery for vegetation mapping*. Salt Lake City: Integration of Remote sensing Program Nationwide Forestry Application Program, 1994.
- VALENZUELA, R. C. *Introduction to geographic information system*. ITC . The Netherlands, 1990.
- VELOSO. H. P. & GOES, L. *Fitogeografia brasileira-Classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. Projeto RADAM- BRASIL*. Salvador: Série vegetação, nº1, 1982.
- VELOSO, H. P ; RANGEL, A. & ALVES, J. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE. p.66-107, 1990.
- WAYNE, R. O. *Environmental Statistics and data analysis*. Lewis publishers, Florida, 1995.
- ZHUANG, W.; ENGEL, B. & XIONG, X. *Analysis of classification results of remotely sensed data and evaluation of classification algorithms*. Photogrammetric engineering & remote sensing, vol LXI, nº4, p.227-432. 1995.