

PÉRICLES SILVEIRA

**DETECÇÃO DE ALTERAÇÕES NA COBERTURA VEGETAL  
OCASIONADAS PELA EXPANSÃO URBANA EM UMA  
REGIÃO DO LITORAL PARANAENSE, ATRAVÉS  
DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

*Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.*

Orientador: Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner

CURITIBA

1997



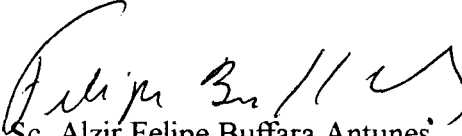
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

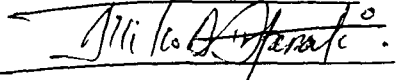
P A R E C E R


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 **PÉRICLES SILVEIRA**, sob o título "**DETECÇÃO DE ALTERAÇÕES NA COBERTURA VEGETAL OCASIONADAS PELA EXPANSÃO URBANA EM UMA REGIÃO DO LITORAL PARANAENSE, ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO.**", 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 **MANEJO FLORESTAL**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com média final: ( **8,1** ), correspondente ao conceito: ( **B** ).

Curitiba, 27 DE JUNHO DE 1997

  
Prof. M.Sc. Alzir Felipe Buffara Antunes  
Primeiro Examinador  
UFPR

  
Prof. Dr. Attilio Antonio Disperati  
Segundo Examinador  
UFPR

  
Prof. Dr. Flávio Felipe Kirchner  
Orientador e Presidente da Banca  
UFPR



À Márcia e Luísa,  
dedico.

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho de pesquisa proporcionou um enriquecimento inestimável em minha formação acadêmica e profissional. Para tanto, a participação de pessoas e entidades se tornou imprescindível para o cumprimento dos seus objetivos e a sua conclusão.

Neste momento quero agradecer:

Ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná por ter me aceitado como aluno, e ao corpo docente pelos conhecimentos transmitidos.

Ao comitê de orientação, formado pelo Dr. Flávio Felipe Kirchner, Dr. Carlos Vellozo Roderjam, pelos conhecimentos transmitidos, e especialmente ao Dr. João Roberto dos Santos pelo inesgotável apoio e estímulo em todos os momentos.

Ao Dr. Attílio Antonio Disperati e Otto Luiz Gantzel pelos conhecimentos e palavras de incentivo prestados.

Ao Dr. Franklin Galvão pelas sugestões e idéias preliminares.

A Gianna de Rossi pelo fornecimento das fotografias aéreas.

A Elizeu Eweber do Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul pelos conhecimentos transmitidos sobre o IDRISI.

Aos colegas: Paulo Costa Filho, Alessandro Zanardo, Alzir Felipe Buffara Antunes e Christel Lingnau, pela ajuda e conhecimentos transmitidos.

A Paulo, Elaine e Padilha da empresa "Cor e Tipos Propaganda" pelas valiosas contribuições.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico "CNPq" pela viabilização do desenvolvimento deste trabalho, através do fornecimento da bolsa auxílio.

# SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
<b>1 <u>INTRODUÇÃO</u></b> .....	<b>01</b>
1.1 OBJETIVOS.....	02
1.2 JUSTIFICATIVA.....	03
<b>2 <u>REVISÃO DE LITERATURA</u></b> .....	<b>04</b>
2.1 <b>CONCEITOS BÁSICOS EM SENSORIAMENTO REMOTO</b> .....	04
2.1.1 APLICABILIDADE DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ÁREA FLORESTAL.....	06
2.2 <b>IMAGENS LANDSAT</b> .....	10
2.2.1 DADOS DO LANDSAT EM ESTUDOS DE VEGETAÇÃO.....	11
2.3 <b>CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA VEGETAÇÃO</b> .....	13
2.4 <b>INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO</b> .....	15
2.5 <b>PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS</b> .....	17
2.5.1 <b>TÉCNICAS DE PRÉ-PROCESSAMENTO</b> .....	18
2.5.1.1 Correção Atmosférica.....	18
2.5.1.2 Correção Radiométrica.....	19
2.5.1.3 Correção Geométrica e Registro de Imagens.....	19
2.5.2 <b>TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE REALCE</b> .....	21
2.5.2.1 Ampliação Linear de Contraste.....	21
2.5.2.2 Operações Aritméticas em Imagens.....	22
2.5.2.3 Filtragem.....	23
2.5.3 <b>TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO</b> .....	25
2.5.3.1 Classificação Supervisionada.....	25
2.5.3.2 Classificação Não Supervisionada.....	27
2.6 <b>FOTOINTERPRETAÇÃO FLORESTAL</b> .....	28
2.7 <b>TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE ALTERAÇÕES EM IMAGENS ORBITAIS</b> ...31	
2.7.1 <b>ALGORITMOS DE DETECÇÃO DE ALTERAÇÃO</b> .....	32
2.7.1.1 Diferença de Imagens.....	32
2.7.1.2 Razão de Imagens.....	33
2.7.1.3 Comparação Pós - Classificação.....	34
2.7.1.4 Classificação Temporal-Espectral.....	35
2.7.1.5 Análise por Principais Componentes.....	35
2.8 <b>SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA "SGI"</b> .....	36
2.8.1 <b>FORMATOS DE REPRESENTAÇÃO DOS DADOS</b> .....	37
2.9 <b>INTEGRAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO E SIG NO ESTUDO DE RECURSOS NATURAIS</b> .....	39
<b>3 <u>MATERIAL E MÉTODOS</u></b> .....	<b>43</b>

<b>3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	44
<b>3.2 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA</b> .....	45
<b>3.3 MATERIAL</b> .....	47
3.3.1 DADOS UTILIZADOS.....	47
3.3.1.1 Dados Orbitais Do TM/Landsat.....	47
3.3.1.2 Fotografias Aéreas.....	47
3.3.1.3 Dados auxiliares.....	47
3.3.2 EQUIPAMENTOS E SISTEMAS.....	48
<b>3.4 MÉTODOS</b> .....	48
3.4.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	50
3.4.1.1 Atenuação dos efeitos atmosféricos.....	50
3.4.1.2 Registro das Imagens.....	50
3.4.1.3 Processamento de Realce das Imagens.....	52
3.4.2 FOTOINTERPRETAÇÃO.....	53
3.4.3 TRABALHO DE CAMPO.....	53
3.4.3.1 Reconhecimento e Caracterização da Paisagem.....	54
3.4.4 ASSINATURAS ESPECTRAIS.....	54
3.4.5 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA.....	55
3.4.6 CLASSIFICAÇÃO TEMPORAL/ESPECTRAL.....	56
3.4.7 TRANSFORMAÇÃO DAS CLASSES EM PLANOS DE INFORMAÇÃO "PI's".....	57
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	58
<b>4.1 FOTOINTERPRETAÇÃO</b> .....	58
<b>4.2 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LEGENDA TEMÁTICA</b> .....	60
4.2.1 ÁREA URBANA.....	60
4.2.2 SOLO EXPOSTO.....	61
4.2.3 AGROPECUÁRIA.....	61
4.2.4 FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA MARINHA (Restingas).....	62
4.2.5 FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLUVIOMARINHA (Manguezal e Várzea).....	63
4.2.6 FLORESTA OMBRÓFILA DENSA DAS TERRAS BAIXAS (Floresta de Planície).....	64
4.2.7 REFLORESTAMENTO.....	65
<b>4.3 PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS</b> .....	66
4.3.1 ATENUAÇÃO DOS EFEITOS ATMOSFÉRICOS.....	66
4.3.2 GEOREFERENCIAMENTO DAS IMAGENS.....	67
4.3.3 PROCESSAMENTO DE REALCE .....	68
4.3.2.1 Ampliação Linear de Contraste.....	69
4.3.2.2 Razão de Bandas Espectrais.....	72
<b>4.4 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS</b> .....	73
<b>4.5 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA</b> .....	78
<b>4.6 ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO</b> .....	80
<b>4.7 MANIPULAÇÃO DE DADOS E INFORMAÇÕES NO SGI/IDRISI</b> .....	85
4.7.1 QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS DAS CLASSES MAPEADAS.....	86
4.7.2 ANÁLISE DA DINÂMICA DAS CLASSES MAPEADAS.....	88
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	91

## ANEXOS

ANEXO 1 TABELA DE IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE.....	94
ANEXO 2 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE NA ÁREA DE ESTUDO. ESC.: 1:250000.....	96
ANEXO 3 ESTATÍSTICA PARA AS 6 BANDAS ESPECTRAIS DE TODAS AS ASSINATURAS NAS DUAS DATAS CONSIDERADAS.....	97
ANEXO 4 CLASSE (FLORESTA) TRANSFORMADA EM UM PLANO DE INFORMAÇÃO.....	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

## LISTA DE FIGURAS

1	INTERAÇÕES BÁSICAS ENTRE A ENERGIA ELETROMAGNÉTICA E FEIÇÕES DA SUPERFÍCIE.....	06
2	IFOV, FOV (MSS, TM).....	07
3	HISTOGRAMA DE UMA IMAGEM.....	08
4	CURVA MÉDIA DA VEGETAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA.....	14
5	AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE.....	22
6	TIPOS DE FORMATOS: RASTER (ESQUERDA) E VECTOR (DIREITA)....	38
7	INTEGRAÇÃO DE DADOS TM/LANDSAT COM OUTROS PLANOS DE INFORMAÇÃO.....	40
8	ANÁLISE DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO COM OUTRAS FONTES DE DADOS.....	41
9	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	44
10	FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES.....	49
11	VISTA PARCIAL DA ÁREA DE ESTUDO EM FOTOGRAFIA AÉREA, ILUSTRANDO O CONTORNO TEMÁTICO DAS CLASSES IDENTIFICADAS...	59
12	REGIÃO URBANA.....	60
13	SOLO EXPOSTO.....	61
14	AGROPECUÁRIA.....	62
15	FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA MARINHA (RESTINGAS E VÁRZEAS).....	63
16	FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLUVIOMARINHA (MANGUEZAL).....	64
17	FLORESTA OMBRÓFILA DENSA DE TERRAS BAIXAS (FLORESTA DE PLANÍCIE).....	65
18	REFLORESTAMENTO.....	65
19	COMPOSIÇÃO COLORIDA DA ÁREA DE ESTUDO FORMADA PELAS BANDAS REALÇADAS POR AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE (5% DE SATURAÇÃO). TM 4-R/TM 5-G/TM 7-B, 18/07/94. ESC. APROX. 1:240000, PROJEÇÃO UTM.....	70
20	VISTA PARCIAL DA ÁREA DE ESTUDO. COMPOSIÇÃO COLORIDA FORMADA PELAS BANDAS REALÇADAS POR AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE (5% DE SATURAÇÃO). TM 5-R/TM 4-G/TM 3-B, 14/09/86.....	71
21	VISTA PARCIAL DA ÁREA DE ESTUDO. COMPOSIÇÃO COLORIDA FORMADA PELAS BANDAS REALÇADAS POR AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE (5% DE SATURAÇÃO). TM 5-R/TM 4-G/TM 3-B, 18/07/94.....	72
22	GRÁFICO DE ASSINATURAS ESPECTRAIS: A) 1986, B) 1994.....	76
23	ESPAÇO DE ATRIBUTOS (ELIPSES) REFERENTES AS ASSINATURAS ESPECTRAIS PARA A DATA DE 1986.....	77
24	ESPAÇO DE ATRIBUTOS (ELIPSES) REFERENTES AS ASSINATURAS ESPECTRAIS PARA A DATA DE 1994.....	78
25	MAPA TEMÁTICO GERADO PELA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA PARA O ANO DE 1986.....	79
26	MAPA TEMÁTICO GERADO PELA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA PARA O ANO DE 1994.....	80
27	DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS CLASSES EM 1986.....	88
28	DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS CLASSES EM 1994.....	88
29	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS CLASSES NAS DUAS DATAS CONSIDERADAS.....	89

## LISTA DE TABELAS

1	VALORES DIGITAIS EMPREGADOS PARA ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA DAS IMAGENS TM/LANDSAT UTILIZADAS.....	66
2	COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE PARA O REGISTRO DE IMAGEM X MAPA PARA A DATA DE 1986.....	67
3	COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE PARA O REGISTRO DE IMAGEM X MAPA PARA A DATA DE 1994.....	68
4	PARÂMETROS ESPECTRAIS E ESTATÍSTICA PARA A CLASSE MANGUE EM 1986.....	74
5	PARÂMETROS ESPECTRAIS E ESTATÍSTICA PARA A CLASSE MANGUE EM 1994.....	75
6	MATRIZ DE ERROS.....	82
7	ACURÁCIA PARA AS CLASSES ESTUDADAS.....	83
8	QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS DAS CLASSES MAPEADAS NOS ANOS DE 1986 E 1994.....	87
9	MUDANÇAS PERCENTUAIS OBSERVADAS PARA AS CLASSES NAS DATAS CONSIDERADAS.....	90

## LISTA DE QUADROS

1	PARÂMETROS ORBITAIS DAS IMAGENS LANDSAT 4 E 6.....	10
2	PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS CANAIS DO SENSOR TM.....	11
3	MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES.....	16
4	CARTAS TOPOGRÁFICAS DA DSG, ESCALA 1:50000 QUE RECOBREM A ÁREA DE ESTUDO.....	47

## RESUMO

Com a crescente alteração da vegetação do litoral paranaense nos últimos anos, ocasionada principalmente pela expansão urbana, houve a necessidade de se detectar e quantificar estas alterações, objetivando o fornecimento de subsídios para planos de monitoramento ambiental aos órgãos competentes. Neste contexto, o presente trabalho apresenta e avalia técnicas de processamento digital de imagens, com o apoio de levantamentos de campo, para contribuir no estudo da dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra, em uma região situada entre os municípios de Pontal do Paraná e Matinhos, apresentando uma área de 18120,96 Ha. Foram aplicadas técnicas de processamento digital em dados TM/Landsat, utilizando o software IDRISI/DOS versão 4.20. Fotografias aéreas coloridas foram interpretadas e com as informações provenientes de levantamentos de campo, foi definida uma legenda temática formada por quatro classes de cobertura vegetal (Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas, Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha "Restingas e Várzeas", Formação Pioneira de Influência Fluvio-marinha "Manguezal" e Reflorestamento), duas classes de uso da terra (Urbano e Agropecuária) e a classe Corpos D'água "água de rios e mares". Para a identificação e caracterização das feições de interesse nas imagens, foram aplicadas técnicas de realce, tais como, Ampliação Linear de Contraste e Razão de Bandas, sendo estas em seguida submetidas a uma avaliação através do apoio das informações oriundas de levantamentos de campo. Após a identificação das feições de interesse nas imagens, foi realizada a coleta das amostras de treinamento para extração das assinaturas espectrais, utilizadas nas rotinas de classificação. Foi realizado então uma Classificação Supervisionada utilizando o algoritmo Maxlike (Máxima Verossimilhança) nas duas datas consideradas. As imagens classificadas foram então migradas para o sistema de informação geográfica SGI/IDRISI, onde as classes foram transformadas em planos de informação para análise individual e da dinâmica de distribuição no intervalo de tempo considerado. Como principais resultados, pode-se concluir que os materiais utilizados se mostraram perfeitamente adequados para este tipo de estudo, sendo que a técnica de realce "Ampliação Linear de Contraste" se mostrou muito eficiente na caracterização das feições estudadas, onde as composições coloridas apresentaram um maior poder de discriminação destas, quando comparadas com a análise de bandas individuais. O resultado final do processo de classificação foi considerado bom para as duas datas consideradas, uma vez que foi observado uma grande correspondência entre as informações de campo com os mapas temáticos gerados. Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a metodologia desenvolvida se mostrou perfeitamente adequada para o cumprimento dos objetivos propostos.

## ABSTRACT

Vegetation cover in the of Paraná state seashore has been changing quickly in the last years due to urban expansion and these changes should be detected and quantified in order to support environmental monitoring plans. This study presents and evaluates digital processing image techniques and geographic information systems, by relying on field surveying support which may contribute to the study of vegetal surveying dynamics and land use, in a area located between the municipalities of Pontal do Paraná and Matinhos. Techniques of digital processing in TM/Landsat data were applied by using IDRISI/DOS software, 4.20 version. Colour aerial photographs were interpreted and from some field surveying information a thematic legend was designed for four classes of vegetal covering (Dense Ombrophile Forest of Low Lands, Pioneering Formation of Sand Bar and Low Land Fluviomarine and Reforestation, Pioneering Mangroves and Reforesting) two classes of land use (Urban and Rural) and one class Water Bodies (river and sea water). For the identification and characterization of classes of interest in these images, were used the techniques such as Contrast Linear Broadening and Ratioing Bands, the latter were evaluated by means of field surveying information. After the identification of these classes of interest in the images, samples were taken for expectral signature extract by using routine classification. Then the Supervised Classification was used by using Maxlike algorithm (Maximum likelihood) in the two researched bunches of data. The classified images were migrated into the system of geographic information SGI/IDRISI where these classes were transformed into information plans in order to be analysed both individually and with the dynamics of the classes in the considered time interval. As major results, one may conclude that the instruments used proved to be extremely adequate to this type of study. In the case of the Contrast Linear Broadening, it proved to be very efficient in the characterization of the classes studied where the coloured compositions presented a greater power of discrimination of the classes when compared to the analysis of the individual bands. The final result of the process of classification was considered satisfactory for the two researched bunches of data once it was observed a great correspondence between the field information and the thematic maps produced. Based upon the obtained results, one may finally conclude that the developed methodology was appropriate for the fulfillment of the proposed goals.

## **1 INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento urbano brasileiro apresenta permanentemente conflito com o meio ambiente, decorrente de razões econômicas e, muitas vezes, pela ausência de planejamento e ocupação. No litoral paranaense este fato não é diferente. A expansão urbana nesta região tem ocorrido de forma acelerada nos últimos anos, provocando inúmeras alterações ambientais que afetam diretamente milhares de habitantes causando muitas vezes problemas sociais de difícil solução.

Dentre as alterações ambientais decorrentes do processo de urbanização, destaca-se a alteração da vegetação. Neste contexto, o monitoramento da ocupação do solo nestas áreas tem se tornado cada vez mais necessário, tanto para o estabelecimento de modelos que permitam avaliar o impacto ambiental, como também para a criação de mecanismos de ordenação e controle.

Um dos métodos mais utilizados atualmente para a detecção de alterações em cobertura vegetal, diz respeito a *Análise Multitemporal de dados de Sensoriamento Remoto*, devido a sua resolução, visão sinóptica e caráter espectral destes produtos, tendo estes materiais destacado poder discriminatório para tais alterações na paisagem. Optou-se por imagens de satélite do sistema LANDSAT, pela facilidade de obtenção destes materiais e pela infraestrutura que o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui para receber, processar e fornecer estes materiais a usuários (NOVO, 1988). Associado à análise das imagens, foram utilizadas também técnicas de Sistemas de Informação Geográfica, porque segundo GREEN, KEMPLA e LACKEY (1994), os resultados da análise de detecção de mudanças utilizando imagens de satélite podem ser interessantes e reveladores, mas quando o local a ser analisado é associado a outras informações espaciais, como topografia, divisas políticas, limites de propriedades ou outros dados importantes, esta informação ganha mais poder de capacidade de análise.

Para POMPEIA e FORESTI (1987), a utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto no estudo de problemas ambientais relacionados com a

expansão urbana e destruição de áreas verdes, tem-se mostrado bastante promissora, principalmente devido ao aperfeiçoamento dos equipamentos utilizados na captação e interpretação das imagens, e especificamente, as imagens TM-LANDSAT, constituem um instrumento valioso para a análise dos problemas ambientais urbanos, pois permitem levantamentos rápidos, precisos e custos baixos.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Desenvolver uma metodologia para processar, detectar e quantificar níveis de alterações da cobertura vegetal, com o cruzamento de informações oriundas de dados multitemporais de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) processar dados orbitais de sensoriamento remoto em ambiente computacional (PC), utilizando o software IDRISI;
- b) detectar alterações na cobertura vegetal utilizando imagens orbitais e fotografias aéreas;
- c) analisar ao longo de uma série temporal de 8 anos, entre 1986 e 1994, a cobertura vegetal, identificando e quantificando as alterações;
- d) integrar e manipular dados espaciais de tipologia florestal em um Sistema de Informação Geográfica, utilizando o software IDRISI;
- e) cruzar informações oriundas das técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica, para a confecção dos produtos finais indicando a distribuição espacial dos níveis de alterações da cobertura vegetal;

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Com base em observações feitas nesta região ao longo dos anos, sendo constatado uma alteração significativa na vegetação como consequência da expansão urbana e dos problemas sociais que estas alterações podem causar na qualidade de vida da população local, viu-se a necessidade de analisar e quantificar estas modificações, como fonte de subsídio à órgãos governamentais para planos de monitoramento e a criação de mecanismos de controle.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 CONCEITOS BÁSICOS EM SENSORIAMENTO REMOTO:**

De acordo com MYERS (1975), Sensoriamento Remoto pode ser definido como uma técnica de extração de informações de objetos ou fenômenos encontrados na superfície terrestre, sem que haja contato físico com estes.

Para CRACKNELL e HAYES (1993), Sensoriamento Remoto não é somente conceituado como a geração e interpretação de dados na forma de imagens. Dados como pressão, temperatura e umidade em diferentes altitudes da atmosfera são rotineiramente coletados por serviços de meteorologia em todo mundo usando foguetes e balões, sendo este tipo de serviço caracterizado como outra aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto.

A aquisição dos dados em sensoriamento remoto é realizada basicamente sobre três níveis: nível de laboratório/campo onde utiliza-se o radiômetro, que é um sensor não imageador, essencial para aquisição de informações detalhadas sobre o comportamento espectral de um determinado objeto da superfície terrestre; nível aéreo no qual os mais comuns são os levantamentos aerofotogramétricos; e nível orbital através principalmente dos sensores a bordo de satélites artificiais (NOVO, 1988).

Segundo WATRIN (1994), dentre os produtos de sensoriamento remoto, aqueles oriundos de sistemas orbitais apresentam algumas vantagens sobre os demais sistemas, para o levantamento e estudo de alvos que apresentam aspectos dinâmicos, tais como feições da cobertura vegetal e uso da terra. Isso deve-se principalmente ao fato que os sistemas orbitais proporcionam um constante fluxo de dados multiespectrais sobre alvos da superfície terrestre de forma repetitiva e sinóptica, a custos relativamente baixos.

De acordo com NOVO (1988), um sistema sensor pode ser definido como qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente. O tipo de sensor utilizado nos satélites do sistema Landsat que fazem parte deste

trabalho, são chamados de sensores passivos porque detectam a radiação solar refletida ou emitida de objetos na superfície.

Para FRASER (1975), a interação da radiação eletromagnética (REM) com a superfície terrestre causa a incidência da REM que pode ser refletida ; transmitida ou refratada para dentro da superfície; absorvida toda ou parcialmente pela superfície e sub-superfície, e pode ser definida pela seguinte equação, segundo LILLESAND e KIEFER (1994):

$$E_I (\lambda) = E_R (\lambda) + E_A (\lambda) + E_T (\lambda)$$

onde:

$E_I$  = energia incidente

$E_R$  = energia refletida

$E_T$  = energia transmitida

$E_A$  = energia absorvida

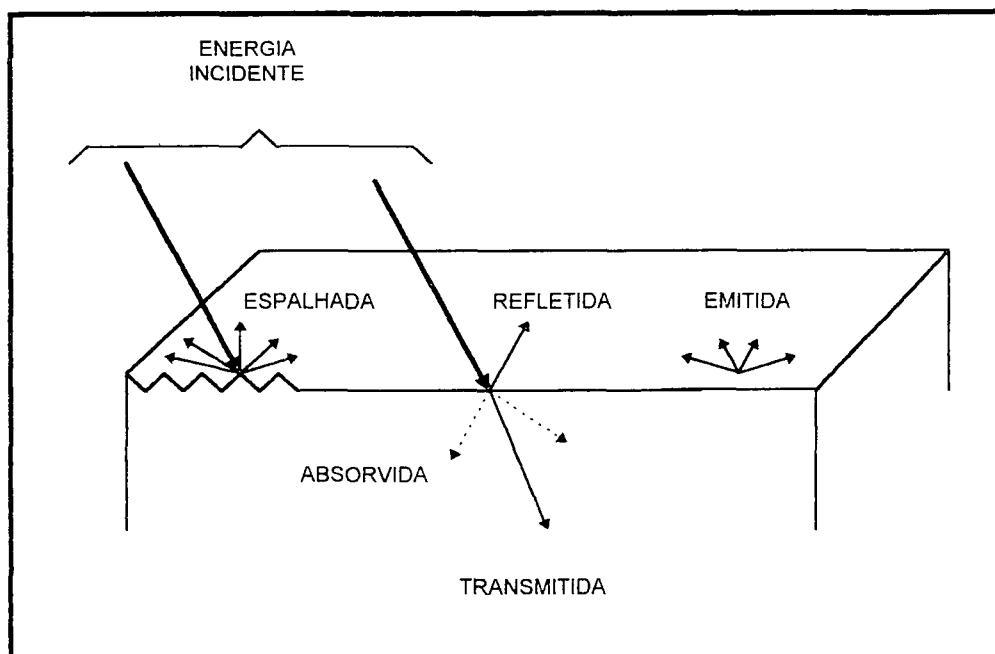
Segundo SABINS (1986), estas interações podem ser definidas da seguinte maneira, sendo ilustradas pela figura 1.

- a) transmitida: atravessada na superfície;
- b) absorvida: transportada para o interior das substâncias, aquecendo-as;
- c) emitida: emitida pela substância, sendo uma função da estrutura e temperatura desta;
- d) espalhada: desviada em todas as direções, em superfícies com dimensões irregulares;
- e) refletida: retornada da superfície no caso de materiais com ângulo de inclinação semelhante e oposto ao ângulo de incidência.

Reflexão é causada por superfícies que são relativamente planas ao comprimento de onda da energia incidente. Emissão, dispersão e reflexão são chamados fenômenos da superfície porque estas interações são determinadas primeiramente por propriedades da superfície, como cor e relevo. Transmissão e absorção são chamados de fenômenos de volume porque estas interações são determinadas pelas características internas dos materiais, como densidade e condutividade (Figura 1).

Estas interações entre matéria e energia são registradas nas imagens de sensoriamento remoto, das quais pode-se interpretar as características dos materiais.

FIGURA 1- INTERAÇÕES BÁSICAS ENTRE A ENERGIA ELETROMAGNÉTICA E FEIÇÕES DA SUPERFÍCIE.



FONTE: SABINS (1986, p.03).

De acordo com CRÓSTA (1992), o termo "resolução" é muito usado em sensoriamento remoto quando se trata de imagens, e esta pode ser espacial, espectral e radiométrica. Resolução espacial é a capacidade do sistema sensor de "enxergar" objetos na superfície terrestre. Quanto menor o objeto possível de ser visto e captado pelo sensor, maior é a resolução espacial. A maneira mais comum de se determinar a resolução espacial de um sensor é pelo seu campo instantâneo de visada (IFOV), que é determinado pelas propriedades geométricas do sistema sensor e define a área do terreno imageado que é vista por ele. A resolução espectral é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada uma. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior é a resolução espectral de um sensor. A resolução radiométrica é dada pelo número de níveis digitais, representando níveis de cinza. Quanto maior o número de níveis, maior a

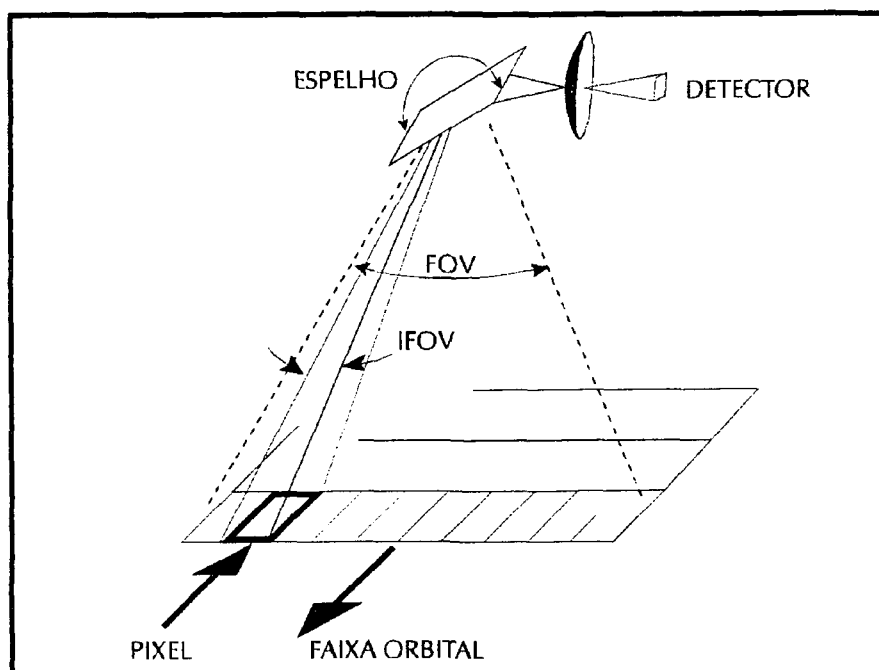
resolução radiométrica. Os sistemas sensores mais comuns, dos satélites Landsat e Spot, possuem resolução radiométrica variando entre 6 e 8 bits, o que significa 64 a 256 níveis de cinza (Figura 2).

Para QUINTANILHA (1990), o número total de pixels constantes de uma imagem de satélite, é determinada pelo campo de visada ou "field-of-view" (FOV) do sistema sensor dividida pela distância entre os pixels (Figura 2). Assim sendo, uma imagem digital é uma representação discreta de  $f(x,y)$ , definida numa grade regular de M linhas e N colunas, e representada por:

$$f(i,j), \text{ onde: } 0 < i < M - 1 \text{ e } 0 < j < N-1,$$

e valores de f variando no intervalo  $[ 0, k-1 ]$ , onde k é o número de níveis de cinza. No caso de uma imagem TM/Landsat inteira (185 km x 185 km), num único canal temos: M = 6167, N = 6167 (aproximadamente) e k = 256.

FIGURA 2- IFOV, FOV (MSS, TM)

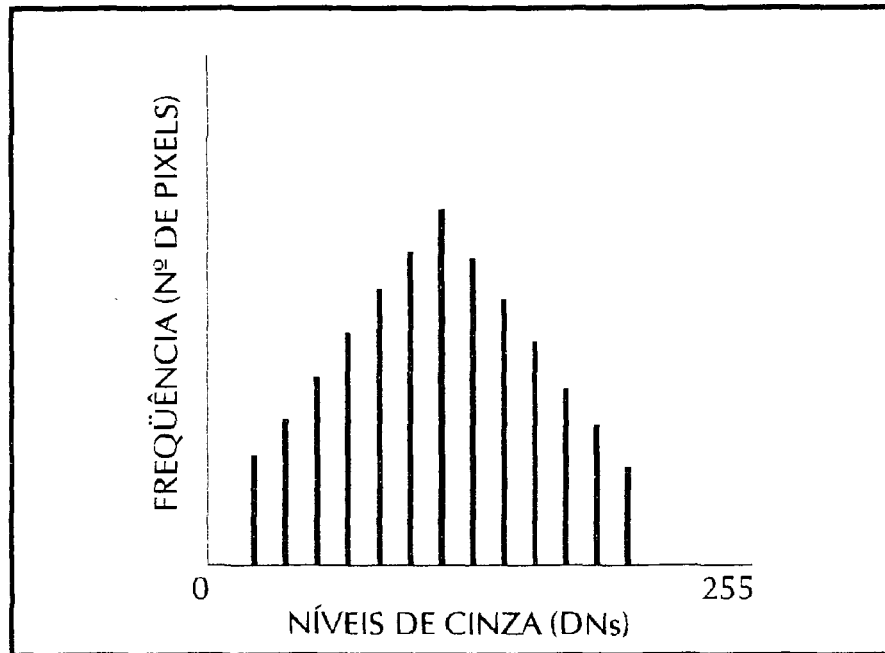


FONTE: SCHOWENGERDT (1983, p. 06).

Conforme figura 3, o histograma de uma imagem é uma das formas mais comuns de se representar a distribuição dos DN's (número digital),

fornecendo informação sobre qual a proporção da imagem que corresponde a cada valor de DN (imagens de 8 bits, variam de 0 a 255).

FIGURA 3- HISTOGRAMA DE UMA IMAGEM



FONTE: CRÓSTA (1992, p.32)

### 2.1.1 APLICABILIDADE DO SENSORIAMENTO REMOTO NA ÁREA FLORESTAL

Em um cenário onde ocorre uma rápida expansão da população mundial, mudanças no uso da terra, e o declínio da cobertura florestal, o sensoriamento remoto está se tornando uma disciplina emergente, tornando-se uma ferramenta essencial na área florestal (HOWARD, 1991).

Devido ao enorme progresso que a tecnologia dos satélites está tendo nos últimos anos, dados de satélites estão cada vez mais sendo aplicados na área florestal, particularmente em análise multitemporal de recursos florestais, devido a possibilidade de obtenção de informações de uma determinada região em datas distintas (HOWARD, 1991).

A classificação digital de dados multiespectrais tem sido de grande valor no monitoramento tanto de grandes como de pequenas áreas, em que se analisa mudanças nas condições ambientais, como por exemplo densidade de vegetação.

Segundo HERNANDEZ FILHO e SARAIVA (1986), as imagens do satélite Landsat, devido à visão sinóptica, multiespectral da superfície terrestre, aliada a sua repetitividade, constituem-se em ferramentas extremamente úteis na detecção, localização, avaliação e monitoramento das alterações motivadas por atividades antrópicas ou agentes naturais na cobertura vegetal.

Para HOWARTH e WICKWALE (1981), dados de satélites de sensoriamento remoto podem tornar eficazes os programas de monitoramento ambiental, onde o objetivo é detectar mudanças nos fenômenos da superfície terrestre.

EDEN (1986) cita as seguintes contribuições que o sensoriamento remoto oferece ao manejo de recursos renováveis em regiões tropicais:

- a) classificação e avaliação dos recursos terrestres;
- b) mapeamento do uso da terra;
- c) monitoramento da cobertura vegetal.

O monitoramento dos recursos terrestres representa a primeira e maior aplicação do sensoriamento remoto em regiões tropicais, trazendo relevantes informações adicionais para o planejamento ambiental e manejo destes recursos.

SANTOS (1994) em trabalho sobre monitoramento do desflorestamento da Amazônia brasileira utilizando imagens satelitárias, afirma que os sensores de alta resolução (Landsat, ERS-1,...) podem oferecer informações através da análise detalhada de suas imagens sobre questões como conversão dos bosques tropicais, processo de desflorestamento, queimada, uso agropecuário, abandono de área e conseqüentemente início da regeneração natural, sendo possível uma estimativa em área mais confiável e maior capacidade de georeferenciamento do fenômeno indicado.

Em trabalhos realizados pelo Centro Canadense de Sensoriamento Remoto e pelo Departamento de Solos e Floresta de Nova Scotia, região litorânea do oeste canadense, objetivando análise multitemporal de dados do Landsat, RENEZ (1985) afirma que a análise multitemporal da banda TM5 correspondeu favoravelmente em termos de número e área na identificação de clareiras no interior de povoamentos florestais.

## 2.2 IMAGENS LANDSAT

O sistema Landsat de satélites de recursos naturais possui os seguintes parâmetros conforme quadro 1, cujos sensores são capazes de produzir *imagens instantâneas do terreno*, tendo como missão segundo NASA (1977), abastecer com informações repetitivas, dados multiespectrais com alta resolução de superfície terrestre, visando testar e demonstrar um sistema automático de inventário dos recursos naturais baseado em dados de sensoriamento remoto. As principais aplicações de seus respectivos canais são demonstradas pelo quadro 2.

QUADRO 1- PARÂMETROS ORBITAIS DAS IMAGENS LANDSAT 5.

órbita	quase polar, síncrona com o sol, horário de passagem equador às 9:30 h (9:45 h p/ LANDSAT 5)
altitude	705 km
período	98,9 min. (órbita completa em torno da terra).
ciclo de repetição	14,56 órbitas por dia em 16 dias
largura da faixa imageada	185 km
período de varredura	42,9 $\mu$ seg
frequência de varredura	6,9 Hz

FONTE: RICHARDS, (1993, p. 10).

QUADRO 2 PRINCIPAIS APLICAÇÕES DOS CANAIS DO SENSOR TM

Canal	Faixa Espectral $\mu\text{m}$	Principais aplicações
1	0,45 - 0,52	-Mapeamento de águas costeiras -Diferenciação entre solo e vegetação -Diferenciação entre coníferas e decíduas
2	0,52 - 0,60	-Reflectância da vegetação verde
3	0,63 - 0,69	-Absorção de clorofila -Diferenciação de espécies vegetais
4	0,76 - 0,90	-Levantamento de biomassa -Delineamento de corpos d'água
5	1,55 - 1,75	-Medidas de umidade da vegetação
6	10,4 - 12,5	-Mapeamento de estresse térmico em plantas -Outros mapeamentos térmicos
7	2,08 - 2,35	-Mapeamento hidrotermal

FONTE: NOVO (1988, p. 149).

### 2.2.1 DADOS DO LANDSAT EM ESTUDOS DE VEGETAÇÃO

De acordo com NASA (1977), a escala sinóptica das imagens do Landsat é adequada para integrar várias condições simultâneas e mudanças em uma região, permitindo monitoramento de sistemas ambientais. Devido ao nível de detalhe obtido através de sua alta resolução, é precioso para

monitoramento ambiental quantitativo. Entretanto, a principal característica dos dados deste satélite é que eles são disponíveis em uma base repetitiva, e conseqüentemente permitem avaliar e quantificar tendências com relação ao meio ambiente e mudanças causadas pelo homem.

SANTOS e PINTO (1982), afirmam que os produtos dos satélites Landsat têm sido amplamente utilizados no estudo e no melhor aproveitamento dos recursos naturais, devido às suas características multiespectrais, visão sinóptica e o caráter de repetitividade, ocasionando um maior dinamismo na etapa de levantamento, principalmente com relação à cobertura vegetal, podendo-se assim determinar o espaço físico ocupado pelos tipos de vegetação e acompanhar o processo evolutivo de ocupação das terras com a abertura de novas fronteiras agrícolas.

Para análise de cobertura vegetal, são utilizadas várias transformações dos dados originais comumente denominadas de "índices de vegetação", como por exemplo, a diferença normalizada  $(TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$  aplicadas à análise dos dados TM Landsat. De modo geral, essas transformações envolvem dados de um canal na faixa do visível e um canal na faixa do infravermelho (KOFFLER, 1992).

Em trabalho realizado no Parque Estadual de Jacupiranga (SP), com o objetivo de detectar e estimar as alterações na vegetação utilizando imagens Landsat dos anos de 1973 e 1983, HERNANDEZ FILHO e SARAIVA (1986) concluíram que com os resultados das classificações e da comparação de imagens obtidos por processamento digital, foi possível avaliar e estimar as alterações ocorridas na vegetação entre as duas épocas.

BRONDIZIO *et al.* (1993), em trabalhos realizados no baixo Amazonas, tendo como um dos objetivos demonstrar o sucesso das imagens Landsat TM na caracterização das formações vegetais presentes na região, mostraram que as características oferecidas pelo sensor TM Landsat apresentam grande aplicabilidade para o mapeamento detalhado de uso da terra.

SHIMABUKURO e KAZMIERCZAK (1993), utilizando dados TM Landsat para a obtenção de dados florestais na Floresta Nacional de Passo Fundo (RS), afirmam que a proposta apresentou um grande potencial em função da associação entre a produtividade e sua resposta espectral. A associação dos três elementos (sítio, produção, resposta espectral) assume um

caráter inovador, que permite a obtenção de informações de forma rápida e dentro dos limites aceitáveis de precisão, após a validação do modelo para aquele local.

Objetivando diagnosticar a cobertura vegetal em uma região do Triângulo Mineiro (MG) através de imagens TM/Landsat baseando-se na técnica de identificação dos objetos a partir da análise dos elementos como tonalidade, cor, tamanho, forma e textura, LIMA e LIMA (1990), concluíram que a metodologia utilizada durante a realização deste trabalho mostrou-se bastante satisfatória. Esta foi baseada principalmente nos métodos de análise visual, onde foi utilizada uma composição colorida das bandas 2B, 4G e 5R, que permitiu a diferenciação dos objetos a partir da cor.

### **2.3 CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DA VEGETAÇÃO:**

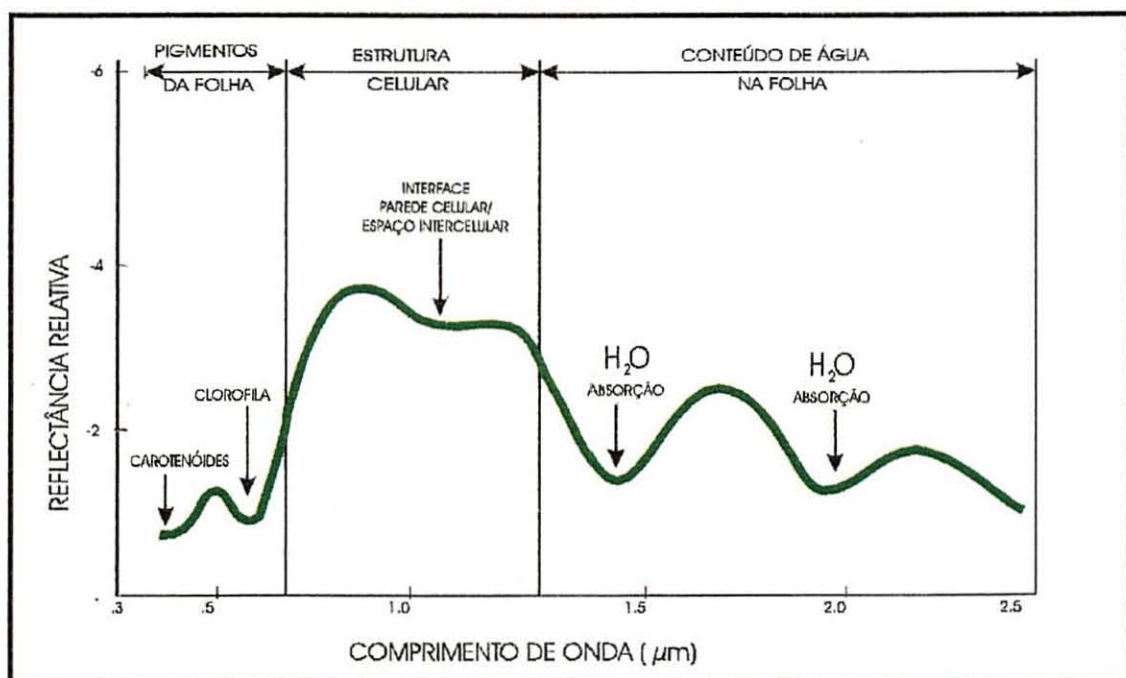
Segundo MEDEIROS (1987), os principais fatores que influenciam na resposta espectral da cobertura vegetal são fatores anatômicos e fisiológicos que estão relacionados com a estrutura celular das folhas e suas características particulares. Fatores morfológicos como a forma do vegetal; fatores atmosféricos como as diferentes condições atmosféricas (partículas em suspensão, espessura das camadas, névoas, nuvens, etc.), que alteram a qualidade e quantidade da radiação incidente; fatores ambientais que estão relacionados com a topografia e com o tipo de solo (composição físico-química e regime hídrico) e fatores sazonais que estão relacionados com as transformações no metabolismo dos vegetais que dão origem a floração, frutificação, rebrota, senescência foliar, etc., que aliados as mudanças climáticas e as condições de iluminação, irão alterar a resposta espectral da cobertura vegetal.

De acordo com MYERS (1975), o comportamento da vegetação com relação a reflectância, transmitância e absorção da radiação eletromagnética é o seguinte: no intervalo de comprimento de onda entre 0,50 a 0,75  $\mu\text{m}$ , região do visível, o domínio da absorção é dos pigmentos da folha como clorofila, carotenos e xantofila. Entre 0,75 e 1,35  $\mu\text{m}$ , região do infravermelho próximo, é caracterizada como uma região de alta reflectância e baixa absorção causada

pela estrutura interna da folha. Entre 1,35 e 2,50  $\mu\text{m}$ , região influenciada não só pela estrutura interna da folha como afetada principalmente pela concentração de água nos tecidos. As bandas que absorvem água estão principalmente entre 1,45  $\mu\text{m}$  a 1,95  $\mu\text{m}$  (Figura 4).

Segundo NOVO (1988), o decréscimo dos valores de reflectância para a região que vai de 1,3  $\mu\text{m}$  a 2,5 $\mu\text{m}$  (infravermelho médio) é devido principalmente ao conteúdo de água presente na folha. Para GAUSMAN<sup>1</sup>, citado por NOVO (1988), folhas hidratadas quando comparadas com as desidratadas, de uma maneira geral, refletem menos e absorvem mais radiação na faixa de 0,5  $\mu\text{m}$  a 2,5 $\mu\text{m}$ . A taxa de energia incidente absorvida na faixa do infravermelho médio pela vegetação é função da soma total da água presente no mesófilo, a qual está relacionada a uma percentagem de umidade contida na folha e a espessura da mesma.

FIGURA 4- CURVA MÉDIA DA VEGETAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA



FONTE: BOWKER *et al.* (1985, p.6)<sup>2</sup>, citados por NOVO (1988, p.191).

<sup>1</sup> GAUSMAN, H.W.; ALLEN, W.A.; CARDENAS, R.; RICHARDSON, A.J. Relation of light reflectance to histological and physical evaluation of cotton leaf maturity. *Applied Optics*, 9:545-552, 1970.

<sup>2</sup> BOWKER, D.E. *et al.* **Spectral reflectances of natural targets for use in remote sensing**. Hampton: NASA, 1985. (Nasa Reference Publication, 1139).

## 2.4 INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Para SCHOWENGERDT (1983), a imagem em sensoriamento remoto é um arranjo bidimensional de números, cada um representando o brilho da área de um pequeno elemento na imagem digital. Esta representação numérica de imagens permite a aplicação de um grande sortimento de processamento computacional e técnicas de análise de dados. O resultado deste processamento são novos arranjos de números, com o objetivo de realçar estas imagens para a classificação temática. Imagens digitais consistem de figuras elementares denominadas "pixel". A cada pixel é associado um número que representa a radiância média (brilho) de uma pequena área dentro de uma cena. A imagem é deste modo uma representação da radiância do terreno, e são chamadas multiespectrais porque a mesma cena pode ser vista simultaneamente em várias bandas espectrais do espectro eletromagnético.

JANZA (1975), cita algumas razões pelas quais, imagens de sensoriamento remoto têm aplicabilidade no estudo do meio ambiente:

- a) Podem representar uma larga área da superfície terrestre em perspectiva e em formato que facilita o estudo dos objetos e suas relações;
- b) Certos tipos de imagens podem mostrar visão tridimensional do terreno ou objetos a serem investigados;
- c) Características de objetos não visíveis ao olho nu podem ser transformadas;
- d) Permite ao observador uma permanente representação dos objetos, fenômenos e relações entre eles no decorrer do tempo.

Segundo NOVO (1988), pode-se dividir os métodos de análise de sensoriamento remoto em dois grandes conjuntos:

- a) análise digital de imagens:
  - engloba uma série de técnicas de manipulação numérica de dados contidos em imagens digitais. Estes dados digitais normalmente provém de sistemas de varredura multiespectral, que permitem a saída de dados em fitas magnéticas. Para que as imagens digitais possam ser numericamente manipuladas

e transformadas em informações sobre a cena de estudo, o usuário precisará dispor de um sistema de análise de imagens digitais, que englobam aspectos relativos aos componentes técnicos de um sistema de processamento “hardware” e também os programas de manipulação de dados “software”.

b) análise visual de imagens:

- este processo baseia-se em certos princípios de análise, que incluem métodos para detectar, identificar e medir objetos observados a partir de uma perspectiva aérea ou orbital. No processo de interpretação, tem-se procedimentos de análise (teste de hipótese, convergência de evidências, etc.), técnicas (modelos de percepção, material complementar, visão estereoscópica) e elementos (tonalidade/cor, tamanho, forma, etc.).

O que diferencia os métodos visual e digital são os procedimentos de análise e as técnicas de extração de informação (Quadro 3).

QUADRO 3- MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES.

ANÁLISE VISUAL	ANÁLISE DIGITAL
feita em grandes escalas	feita a nível de pixel
análise multiespectral limitada	pode ser feito ajuste multiespectral
pode assimilar limitado número de níveis de brilho - 16 níveis	pode fazer avaliação quantitativa dos níveis de brilho - até 256 níveis
facilidade na determinação de contornos	determinação de contornos envolve decisão de complexos programas
informação espacial é fácil no sentido qualitativo	técnicas limitadas para usar dados espaciais

FONTE: RICHARDS (1993, p. 76).

Um intérprete pode discriminar aproximadamente 8 a 16 tons de cinza quando interpretando fotografias aéreas branco e preto. Se os dados são originalmente gravados em 256 tons de cinza, há muito mais informações presentes na imagem, tornando impossível a extração destas informações visualmente pelo intérprete ( JENSEN, 1986).

Em se tratando de características espectrais, devido à grande quantidade de informações, o computador é muito mais adaptado para armazenar e manipular estas informações, tornando possível uma conclusão mais apurada e confiável sobre a interpretação da superfície terrestre (JENSEN, 1986).

## **2.5 PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS**

Segundo SCHOWENGERDT (1983), processamento digital de imagens inclui as fases de pré-processamento, realce e classificação. Pré-processamento refere-se ao processamento inicial dos dados brutos, como correção radiométrica, correção geométrica e remoção de ruídos. A natureza do pré-processamento depende muito das características do sensor, pois o seu objetivo é remover as características indesejáveis produzidas por ele. Realce de imagem produz uma nova imagem para posterior interpretação visual. O produto do processo de classificação é um mapa temático, no qual cada pixel na imagem original é classificado em um conjunto de classes.

Para RICHARDS (1993), quando os dados de uma imagem são gravados pelos sensores nos satélites, estes podem conter erros na geometria e nos valores de brilho dos pixels. Este é denominado erro radiométrico e pode ser resultado de um não adequado funcionamento dos instrumentos usados para gravar os dados e dos efeitos da atmosfera. Erros na geometria da imagem podem surgir devido aos movimentos relativos dos satélites, curvatura da terra, variação não controlada na posição e altitude dos satélites.

## 2.5.1 TÉCNICAS DE PRÉ-PROCESSAMENTO

De acordo com BERNSTEIN (1983), são necessárias correções em imagens quando exige-se alta precisão e fidelidade dos dados, como em cartografia, uso da terra e geografia. Em aplicações como detecção de alterações ou realçamento da imagem, que envolvem operações como subtração, adição ou combinação de múltiplos ou diversos grupos de dados, as imagens necessitam ser correlacionadas ou registradas geometricamente entre si (por exemplo; várias imagens tiradas em diferentes regiões espectrais, imagens da mesma cena tiradas em tempos diferentes, usando dados de diferentes sensores).

### 2.5.1.1 Correção Atmosférica

A radiação quando interage com a atmosfera é espalhada e absorvida. O seu espalhamento aumenta o brilho ao passo que a absorção diminui o brilho dos valores espectrais da paisagem. O efeito da atmosfera pode também afetar a precisão na classificação (JENSEN, 1986).

Para JENSEN (1986), o método do ajuste do histograma avalia os histogramas de várias bandas de uma cena. Normalmente os dados coletados na região do visível com as bandas TM1 (0,45 - 0,52  $\mu\text{m}$ ) a TM3 (0,63 - 0,69  $\mu\text{m}$ ), têm um elevado valor mínimo de brilho por causa do aumento do espalhamento da atmosfera nestes comprimentos de onda. Contrariamente, a absorção da atmosfera diminui o valor do brilho nos dados gravados ao longo dos intervalos de comprimento de onda compreendido pelas bandas TM4 (0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$ ) a TM7 (2,08 - 2,35  $\mu\text{m}$ ). Se os dados dos histogramas são mudados para a esquerda tendendo a zero, os efeitos da atmosfera serão minimizados. Este, segundo QUINTANILHA (1990), é o Princípio da Reflectância Zero, o qual estabelece que os valores de nível de cinza mais baixos de uma cena, estão associados às regiões com sombras de relevo ou de nuvens, ou ainda corpos de água limpa, e cujos valores de nível de cinza sejam nulos.

De acordo com RICHARDS (1993), freqüentemente as correções para o espalhamento e absorção dos efeitos da atmosfera não são exigidos e muitas vezes a necessária informação como visibilidade e umidade relativa não é avaliada.

#### 2.5.1.2 Correção Radiométrica

Os detectores usados em sensoriamento remoto convertem a radiância captada em valores de brilho. O Landsat MSS possui 6 detectores operando durante cada rastreamento em 4 regiões espectrais, enquanto que o TM possui 16 detectores em 6 regiões espectrais. Durante este processo podem surgir várias anomalias nestes detectores. Se um destes detectores do MSS ou dos 16 de TM falhar durante o processo de rastreamento, isto pode resultar em um valor de brilho igual a zero para os pixels, e pode apresentar-se como uma linha completamente preta em uma determinada banda (JENSEN, 1986).

Para corrigir problemas como este utiliza-se os métodos de correção radiométrica, que segundo QUINTANILHA (1990), são baseados em sua maioria nas próprias características das imagens, utilizando-se por exemplo técnicas como filtros de média ou de mediana para determinados tipos de imperfeições como: ausência de uma linha por não funcionamento de um detector; ou o descalibramento de um desses detectores (o que gera ruído e informação, devendo o filtro eliminar o ruído).

#### 2.5.1.3 Correção Geométrica e Registro de Imagens

Há potencialmente muito mais fontes de distorções geométricas em uma imagem do que distorções radiométricas, e seus efeitos são mais severos (RICHARDS, 1993):

Para BERNSTEIN e FERNEYHOUGH (1975), os principais erros geométricos associados com os dados recebidos do sensor TM, são:

- a) rotação da terra: quando o sensor TM varre o terreno, ocorre uma mudança da faixa rastreada, causando distorções no rastreamento, provocado pela rotação da terra;
- b) velocidade de rastreamento: se a velocidade da plataforma variar, a linha do terreno coberta por sucessivos rastreamentos do espelho também variará, produzindo distorções na escala;
- c) altitude: mudança na altitude normal da plataforma produz distorções na escala dos dados;
- d) posição: normalmente o eixo do sistema é mantido de forma que um eixo é normal a superfície da terra, e outro é paralelo à direção de movimento da plataforma. Se o sensor afastar-se dessa posição, resultará distorções geométricas;
- e) perspectiva de projeção: para algumas aplicações é desejável que imagens do Landsat representem a projeção de pontos a partir de um plano tangente à terra, com toda a linha de projeção normal ao plano. Isto introduz distorções na linha de rastreamento;
- f) ângulo de rastreamento: causado pela movimentação prematura da plataforma durante o tempo necessário para cada varredura do espelho. Entretanto, a faixa rastreada não é normal a linha da terra, mas é inadequadamente inclinada, produzindo distorções geométricas;
- g) distorção panorâmica: normalmente os dados são adquiridos em intervalos regulares de tempo. A área imageada é proporcional à tangente do ângulo de rastreamento e não ao próprio ângulo. Este valor produz distorções geométricas;
- h) velocidade do espelho: o espelho do sensor MSS rastreia em uma velocidade não constante, produzindo distorções geométricas ao longo da linha de rastreamento.

Para SHOWENGERDT (1983), é necessário mudar as propriedades geométricas de uma imagem digital, como por exemplo o sistema de coordenadas espacial, para corrigir os erros posicionais dos pixels ou para realizar registro de imagem com imagem ou imagem com mapa. Registros de imagem com imagem são necessários para formar mosaicos, mapas de

mudanças temporais, comparação de imagens de diferentes sensores ou combinações de imagens multiespectrais em composições coloridas.

De acordo com RICHARDS (1993), há duas técnicas que são usadas para corrigir distorções geométricas. Uma das técnicas é usada quando são bem caracterizadas as fontes das distorções, e para tanto são desenvolvidos modelos matemáticos para se determinar fórmulas de correção. A segunda técnica depende de relações matemáticas entre as coordenadas dos pixels na imagem e as coordenadas desses pontos no terreno, através de um mapa.

Depois que uma imagem é corrigida geometricamente, RICHARDS (1993) diz que ela pode ser registrada no sistema de coordenadas de um mapa e então ter seus pixels ajustados nas coordenadas deste mapa. Outros tipos de dados como medidas geofísicas, dados de imagens de outros sensores, podem também ser registrados em um mapa, criando deste modo dados espacialmente georeferenciados, os quais podem ser usados em Sistemas de Informação Geográfica. Em muitas aplicações, imagens de sensoriamento remoto necessitam ser obtidas da mesma região geográfica, adquiridas de diferentes datas e processadas juntas. Em situações em que o objetivo é a detecção de alterações, o registro das imagens permite a comparação pixel a pixel.

## 2.5.2 TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE REALCE

### 2.5.2.1 Ampliação Linear de Contraste

De acordo com QUINTANILHA (1990), a técnica de modificação de histogramas ou ampliação linear de contraste "linear contrast stretch", é a primeira atividade ou manipulação a ser conduzida sobre uma imagem. O seu objetivo é modificar os níveis de cinza na imagem de modo a melhorar a qualidade da visualização da informação nela contida.

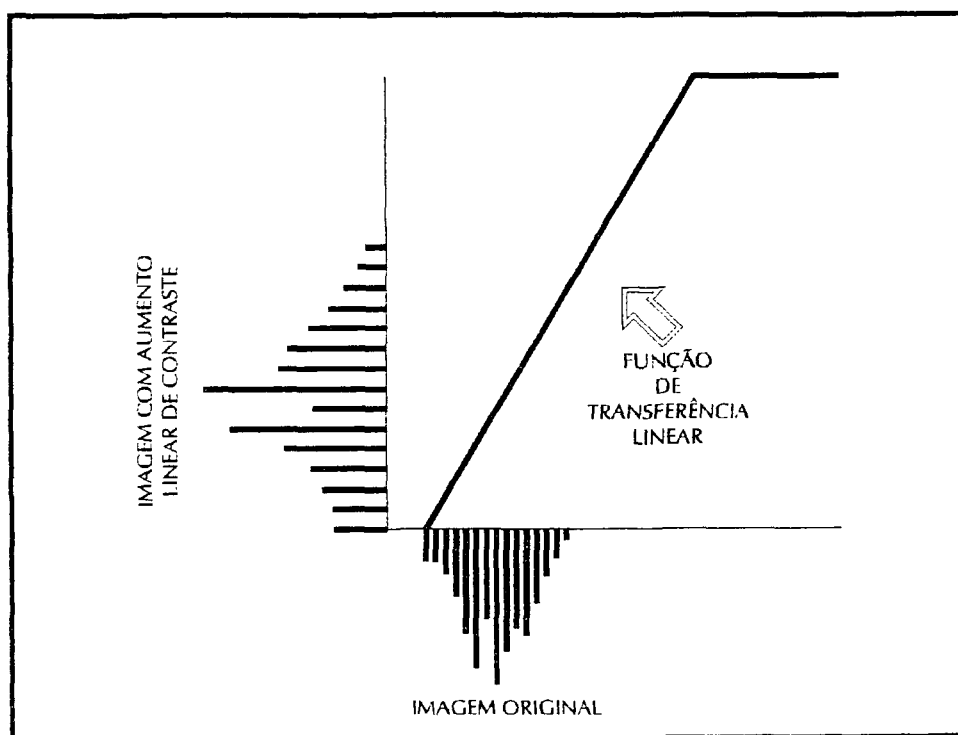
Segundo CRÓSTA (1992), imagens que teoricamente possuem 256 tons de cinza, normalmente apresentam seus dados concentrados em uma pequena faixa, porque dificilmente um local da superfície terrestre apresenta todos os possíveis valores de reflectância, sendo que estes valores ficam comprimidos em uma pequena faixa do intervalo 0-255. A presença da bruma atmosférica, má iluminação solar, desempenho deficiente do sensor e as

próprias características da cena, também causam esta concentração de dados, tornando difícil a análise visual. Para que esta análise se torne possível, estes dados tem que ser expandidos em todo o intervalo disponível. Este processo é chamado de aumento de contraste (Figura 5).

Para SCHOWENGERDT (1983), no aumento de contraste o nível de cinza de cada pixel é alterado por uma transformação específica, sem considerar o nível de cinza dos pixels vizinhos.

JENSEN (1986) afirma que o método digital de aumento de contraste é mais satisfatório que técnicas fotográficas devido a precisão e extensa variedade dos processos a serem aplicados.

FIGURA 5- AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE.



FONTE: CRÓSTA (1992, p. 44).

### 2.5.2.2 Operações Aritméticas em Imagens

Operações como adição, multiplicação, subtração e divisão, são feitas pixel a pixel com os seus respectivos valores de brilho, com o objetivo de formar

uma nova imagem, sendo que a divisão é a operação mais comum (RICHARDS, 1993).

Algumas vezes as diferenças em valores de brilho entre materiais similares são causadas por diferenças no ângulo de iluminação do sol e sua intensidade devido às condições topográficas, sombras ou mudanças sazonais, dificultando a interpretação e classificação de imagens satelitárias (JENSEN, 1986).

A função matemática da operação razão de bandas é a seguinte:

$$BV_{i,j,r} = BV_{i,j,k} / BV_{i,j,l}$$

onde:  $BV_{i,j,r}$  é o valor da razão para o pixel da linha  $i$ , coluna  $j$ , produzindo a imagem  $r$ ;  $BV_{i,j,k}$  é o valor de brilho da mesma área para a banda  $k$ ; e  $BV_{i,j,l}$  é o valor de brilho para a banda  $l$  (JENSEN, 1986).

O “*input*” de uma operação desse tipo é representado por duas ou mais imagens e o “*output*” é uma única imagem representando o resultado da combinação das imagens originais de acordo com alguma regra matemática, realizada pixel a pixel (CRÓSTA, 1992).

Como regra geral, adição e multiplicação servem para realçar similaridades espectrais entre bandas ou diferentes imagens, ao passo que a subtração e a divisão servem para realçar diferenças espectrais (CRÓSTA, 1992).

HOWARTH e WICKARE (1981), utilizando razão entre as bandas 5 e 7 do Landsat no período de 1968 a 1975 para detectar mudanças no nível de água e alterações da vegetação através de análise de imagens na região de Peace-Athabasca Delta, Canada, constataram que as regiões escuras e claras indicaram regiões onde houveram mudanças, e uma composição colorida destas duas razões realçou ainda mais estas alterações.

Estas técnicas serão abordadas mais detalhadamente no item 2.7.

### 2.5.2.3 Filtragem

As filtragens digitais, assim como a modificação do contraste, são transformações pixel a pixel. Neste caso, a transformação considera os valores

digitais da vizinhança de cada pixel, sendo portanto, uma transformação local e espacial, chamada algumas vezes de filtragem espacial (QUINTANILHA, 1990).

Para JENSEN (1986), frequência espacial em imagens de sensoriamento remoto é definida como o número variável de valores de brilho por unidade de distância em uma região de uma imagem. Se essas mudanças nos valores de brilho forem pequenas, diz-se que a área possui uma “baixa frequência”; se as mudanças forem radicais, então se trata de uma área de “alta frequência”.

De acordo com CRÓSTA (1992), a enorme mistura de frequências em uma imagem dificulta sobremaneira a interpretação de feições com frequências específicas. Para contornar esse problema e melhorar a aparência da distribuição espacial das informações, são utilizadas técnicas de filtragem espacial destas frequências. Estas consistem em realçar seletivamente as feições de alta, média ou baixa frequências, que compõe as imagens.

A técnica matemática para separar uma imagem em vários componentes de frequências espaciais é chamada de “Análise de Fourier”, e os algoritmos que fazem cada realçamento são chamados de “filtros” porque desprezam certas frequências e enfatizam outras (JENSEN, 1986).

A Análise de Fourier, que opera no domínio de frequências que compõe uma imagem, é muito poderosa e precisa, porém muito complexa. CRÓSTA (1986) cita outra técnica de filtragem de frequência, que é o processo conhecido por “convolução”, que opera no domínio espacial de uma imagem, sendo mais simples e fácil de se implementar, e são classificados em filtros passa-baixa, passa-alta e direcionais (realce de bordas).

Para JENSEN (1986), os filtros passa-baixa ignoram detalhes de alta frequência espacial, enfatizando detalhes de baixa frequência; os filtros passa-alta ignoram as baixas variações dos componentes e retém somente as variações locais de alta frequência; enquanto que a operação de realce de bordas delinea bordas e por meio disso realiza os contornos e os detalhes, deixando a imagem mais fácil de ser analisada.

### 2.5.3 TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO

Devido ao fato dos materiais superficiais terem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, é possível distinguir e identificar as suas composições como por exemplo tipos de vegetação, padrões de uso do solo, rochas, etc., através da associação dos valores numéricos (DNs) com cada pixel, definidos pela reflectância dos materiais que compõem esse pixel, para a produção de mapas temáticos.

O conteúdo de informação de uma imagem de sensoriamento remoto, segundo CRÓSTA (1992), se baseia na intensidade (nível de cinza ou cor) de cada píxel individual, como no arranjo espacial dos pixels (*textura e forma*), sendo que as técnicas padrão de classificação só utilizam características espectrais, deixando de lado as texturais; com isso, pode-se concluir que a classificação apresenta resultados satisfatórios na indicação de tipos de cobertura caracterizados apenas por variações de intensidade.

Para NOVO (1988), com relação ao número de canais espectrais com os quais pode-se trabalhar, tem-se as técnicas de classificação unidimensional e multiespectral. A classificação unidimensional é aplicada em apenas um canal espectral e tem como exemplo o Fatiamento (*slicer*), que consiste na divisão do intervalo total de níveis de cinza de uma faixa espectral, em um certo número de classes. Outro tipo de classificação unidimensional é a que se baseia em técnicas de agrupamento (*clustering*). Na classificação multiespectral o critério de decisão depende da distribuição de níveis de cinza em vários canais espectrais.

A classificação de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto também é dividida em função de informações prévias ou amostras que o analista pode ou não fornecer ao sistema.

#### 2.5.3.1 Classificação Supervisionada

Neste tipo de classificação, o analista utiliza a "piori" conhecimentos de trabalhos de campo, fotointerpretação, e outras fontes, sobre pequenas regiões na imagem a ser classificada, denominadas de áreas de treinamento, para

identificar aqueles pixels que se encontram ao longo das classes de interesse (SCHOWENGERDT, 1983).

Para RICHARDS (1993), neste tipo de classificação, além de se identificar as áreas de treinamento, deve-se decidir os tipos de cobertura no terreno nos quais a imagem será segmentada. Estas informações são chamadas de classes, como por exemplo regiões que contenham água, floresta, agricultura, etc. As áreas de treinamento devem ser usadas para estimar os parâmetros do algoritmo de classificação a ser usado, que serão equações que definirão regiões do espaço multiespectral. Estes grupos de parâmetros para uma classe conhecida é chamado de "assinatura" das classes. Os algoritmos mais freqüentemente usados neste tipo de classificação são o Paralelepípedo (Single Cell), Distância mínima e Máxima Verossimilhança (Maxver ou "Maximum Likelihood").

De acordo com RICHARDS (1993), o método do Paralelepípedo é realizado através da inspeção dos histogramas dos componentes espectrais individuais dos dados de treinamento disponíveis. Os limites superior e inferior dos histogramas são identificados e usados para descrever a amplitude dos valores de brilho dos componentes de cada banda e classe, tendo a forma de um paralelepípedo o agrupamento de todos os componentes individuais das classes no espaço de atributos.

RICHARDS (1993), ainda enfatiza que um dos problemas deste método, é que podem ocorrer espaços entre os paralelepípedos nos quais os pixels não serão classificados, enquanto que nos demais métodos todos os pixels são classificados; e para que os dados possam ser correlacionados, além dos dados terem que estar dentro do paralelepípedo, os seus lados têm que ser paralelos ao eixos espectrais.

Para CRÓSTA (1992), uma outra característica do método do Paralelepípedo é que em imagens de sensoriamento remoto contendo milhares de pixels, a maioria deles vai cair fora dos limites de decisão das classes, devido ao fato de que o volume do espaço de atributos que não pertence a nenhuma das classes é bastante grande.

O método Maxver, segundo WATRIN (1994), é um algoritmo estatístico que consiste em classificar a imagem ponto a ponto, usando o critério da máxima verossimilhança a partir das classes fornecidas pelo analista,

baseando-se em associar o padrão à classe para a qual ele tenha a maior probabilidade de pertencer, considerando-se as suas características ou atributos.

De acordo com CRÓSTA (1992), para se analisar a precisão da classificação, é necessário um número elevado de pixels para cada conjunto de treinamento, acima de uma centena, permitindo uma base segura para tratamento estatístico.

Em trabalhos na região de Tucuruí, Estado do Pará, objetivando mapeamento da cobertura vegetal através de classificação supervisionada de imagens TM Landsat, VENTURIERI, FUNAKI e MEDEIROS (1990), utilizaram o método da Máxima Verossimilhança com grau de precisão satisfatório.

#### 2.5.3.2 Classificação Não Supervisionada

De acordo com RICHARDS (1993), este método é usado particularmente quando o analista não possui informações sobre a área a ser estudada no que se refere ao número de classes presentes. O algoritmo é que define as áreas com base em regras estatísticas.

Segundo SCHOWENGERDT (1983), o analista não necessita se preocupar com a homogeneidade da área de trabalho, sendo que estas áreas são propositalmente heterogêneas para assegurar todas as possíveis classes e suas respectivas variabilidades. Os pixels nas áreas de treinamento são submetidos a algoritmos que determinam agrupamentos naturais dos dados em  $k$  dimensões no espaço, chamados de "cluster", sendo que cada cluster assumirá a distribuição probabilística para cada classe.

É um processo pelo qual operações numéricas são feitas para a procura de agrupamentos naturais das propriedades espectrais dos pixels, examinando em uma feição do espaço multiespectral. O seu uso permite ao software do computador seleccionar as classes principais e as respectivas matrizes de covariância usadas na classificação. A determinação dos clusters nos dados de treinamento pode ser feito de várias maneiras, sendo que a mais comum é o método chamado de  $k$  média ou Isodata (JENSEN, 1986).

Após a segmentação dos espaços multiespectrais pelos clusters, estes são associados com informações de classes como tipos de cobertura no terreno pelo analista. Esta é uma identificação posterior que poderá ser feita para evidenciar somente as classes de interesse (JENSEN, 1986).

Para SANTOS e PINTO (1982), comparando-se o método supervisionado ao não supervisionado, este último requer menor tempo de máquina, o que acarreta menor custo. Porém através da experiência adquirida, o programa Maxver (supervisionado) é recomendável principalmente por permitir uma inferência de informação obtida na verificação de campo. A interação homem-máquina é importante, podendo parecer subjetiva, porém deve-se lembrar que o levantamento da cobertura vegetal, em especial, é uma etapa muito complexa, que geralmente exige o conhecimento prévio das condições fitofisionômicas da vegetação em estudo.

## 2.6 FOTOINTERPRETAÇÃO FLORESTAL

Fotointerpretação é a arte de examinar as imagens dos objetos fotografados, com o propósito de identificá-los e de deduzir a sua significação (MARCHETTI e GARCIA, 1986).

Para SPURR (1960), fotografias aéreas constituem um permanente registro da posição da floresta no momento em que a fotografia foi tirada, contendo uma riqueza de informações incapazes de serem mostradas em um mapa, descritas em um texto, ou outra forma de registro.

SPURR (1960), ainda afirma que dentre outras aplicações, fotografias aéreas podem ser usadas para todas as formas de pesquisa do uso da terra. Elas podem ser usadas para registro de amostras, planejamento de novas pesquisas, e são também usadas para o planejamento e execução de todos os tipos de pesquisas ligadas à área florestal.

O método da fotointerpretação permite obter muitas vantagens importantes com respeito a outras técnicas de registro de informações como mapas, textos, etc., que são:

- a) uma qualidade técnica muito superior, que permite obter dados de interesse fundamental, os quais não poderiam ter sido conhecidos através de nenhum outro procedimento;
- b) reduz consideravelmente o tempo que se exige para uma investigação completa;
- c) a visão de conjunto que é obtida ao se realizar uma investigação completa de um recurso natural determinado;
- d) o custo de um estudo empregando-se fotografias aéreas é consideravelmente mais baixo do que qualquer outro sistema de trabalho.

Segundo BARRETT e CURTIS (1992), fotointerpretação é dividida em duas tarefas básicas:

- a) um processo de determinar a identidade dos objetos e elementos detectados nas fotos, utilizando características como forma, tamanho, tonalidade, sombra, padrão, textura, situação e resolução para identificar objetos;
- b) um processo de procura de seus significados que usa sofisticados tipos de análises e deduções para constatar o significado das relações.

Para MARCHETTI e GARCIA (1986), a fotointerpretação apresenta as seguintes fases: objeto, filtro, imagem, olhos, identificação, reconhecimento, descrição, dados, análises, interpretação, significância. Os objetos reconhecidos usando-se descrições como forma, tamanho, sombra, tonalidade, textura e posição topográfica. Os dados assim coletados são analisados usando-se os fatos observados através de uma hipótese formulada e finalmente chega-se à significância.

No estudo da vegetação, a primeira providência é a sua divisão em classes como por exemplo vegetação natural e culturas. Quanto à vegetação natural, esta pode ser subdividida em vegetação com base nas espécies, posição da vegetação com base na topografia e condições de solo, altura da vegetação, baseada no diâmetro e altura das árvores e condições da vegetação, em função do tratamento anterior recebido (MARCHETTI e GARCIA, 1986).

Qualquer que seja o tipo de divisão adotado, o importante é a elaboração de chaves de classificação, que podem ser de seleção, em que o fotointérprete seleciona o exemplo correspondente à imagem que se quer identificar, e de eliminação onde o fotointérprete acompanha uma seqüência pré-estabelecida, eliminando os itens, com exceção daquele que se deseja identificar (MARCHETTI e GARCIA, 1986).

De acordo com SPURR (1960), os elementos das fotografias aéreas utilizados em estudos de vegetação são tonalidade, textura, sombra, forma, tamanho, padrão e localização. Estes elementos podem ser assim descritos conforme BARRETT e CURTIS (1992):

- a) forma: numerosos componentes do meio ambiente podem ser assim identificados com razoável certeza analisando-se os seus formatos através de feições naturais como estruturas geológicas, e construções feitas pelo homem como casas, indústrias, etc.;
- b) tamanho: em muitos casos, comprimento, largura, altura, áreas e volume de objetos, são importantes, como também feições superficiais (a nível de espécies vegetais), ou fenômenos atmosféricos (acúmulo de nuvens);
- c) tonalidade: permite a discriminação de variáveis espaciais como por exemplo diferentes tipos de plantios ou contrastes de corpos na água em diferentes profundidades ou temperaturas. Os termos clara, média e escura são usados para descrever tonalidade;
- d) sombra: são especialmente usuais em estudos geomorfológicos onde feições de microrelevos podem ser fáceis de serem identificadas baseando-se no ângulo de incidência solar;
- e) padrão: repetitivos arranjos de feições de culturas e florestas naturais são comuns, porque em grande parte a fotointerpretação está baseada no mapeamento e análise das feições complexas relativas;
- f) textura: esta é uma importante característica estreitamente associada com tonalidade da cena, que é uma qualidade que permite que duas áreas de mesma tonalidade possam ser diferenciadas pelos seus micro-padrões de tonalidade. Textura tende a ser um critério muito

- subjetivo, sendo usado como critério de identificação ou correlação, e é muitas vezes usada como base para a subdivisão em categorias;
- g) posição: a localização de objetos com respeito a feições do terreno (topografia), por exemplo, pode ser útil na identificação e classificação de certos elementos;
- h) resolução: depende das características do sistema de sensoriamento remoto utilizado, como também de condições ambientais durante a tomada das fotos e condições de revelação;
- i) visão estereoscópica: quando a mesma feição é fotografada de duas diferentes posições com sobreposição entre sucessivas tomadas, a região comum a ambas as fotos pode ser vista estereoscopicamente, e a visão tridimensional facilitará a interpretação.

## 2.7 TÉCNICAS DE DETECÇÃO DE ALTERAÇÃO EM IMAGENS ORBITAIS

Segundo MEDEIROS (1987), detecção de alteração é definido como o reconhecimento de modificações ocorridas através do tempo sobre a superfície terrestre. Estas alterações podem ser detectadas através das técnicas de análise visual e ou digital, utilizando dados obtidos em diferentes épocas (dados multitemporais) pelos sistemas de sensoriamento remoto.

As técnicas visuais consistem simplesmente em comparar várias imagens de passagens diferentes, interpretando e mapeando as áreas onde ocorreram alterações. Porém segundo SHEPARD (1964), uma comparação visual pode ser lenta, cansativa e sendo subjetiva pode proporcionar vários erros. JENSEN (1986) afirma que estas são algumas das razões pelas quais o método digital é muito usado para correlacionar e comparar imagens de diferentes épocas para a identificação de mudanças no uso da terra.

Com relação às técnicas digitais, segundo GREEN, KEMPLA e LACKEY (1994), a análise multitemporal de imagens de satélite é eficaz justamente porque há uma alta correlação entre a variação espectral na imagem com a mudança da superfície terrestre.

De acordo com JENSEN (1986), um método de detecção de alteração deve ser baseado em um sistema sensor que:

- a) tenha um período sistemático entre órbitas (ex.: 18 dias);
- b) possua registro de imagens da mesma área geográfica na mesma hora do dia, para minimizar os efeitos do ângulo de incidência solar;
- c) mantenha a mesma escala e mesmo ângulo geométrico de visada;
- d) redução do deslocamento do relevo o máximo possível;
- e) registro do fluxo radiante refletido em uma consistente e proveitosa região espectral.

## 2.7.1 ALGORITMOS DE DETECÇÃO DE ALTERAÇÃO

### 2.7.1.1 Diferença de imagens

Este algoritmo envolve subtrações de conjunto de dados entre imagens na mesma banda espectral, resultando valores positivos ou negativos em áreas onde ocorreram mudanças na radiância, e valor zero em áreas onde não ocorreram mudanças. A imagem diferença é formada pela diferença entre o valor de um pixel de uma passagem pelo valor do pixel de outra passagem. Em sistemas sensores com resolução radiométrica de 8 bits, em que os valores dos pixels variam de 0 a 255, os valores da diferença variam de -255 a +255. Os resultados são normalmente transformados em valores positivos adicionando-se uma constante.

Segundo WEISMILLER *et al.* (1977), esta técnica utiliza a seguinte equação:

$$X_{ijk} = X_{ijk}(T_2) - X_{ijk}(T_1) + b_k$$

- onde:
- $X_{ijk}$  = valor da diferença entre canais
  - $X_{ijk}(T_2)$  = valores de brilho no tempo  $T_2$
  - $X_{ijk}(T_1)$  = valores de brilho no tempo  $T_1$
  - $i$  = linha
  - $j$  = coluna

$k$  = canal

$T_1$  = passagem 1

$T_2$  = passagem 2

$b_k$  = constante somada para produzir uma imagem positiva.

Para CRÓSTA (1992), a subtração entre bandas é bastante útil na identificação de diferentes tipos de cobertura vegetal, quantidade de vegetação presente e detecção de padrões de mudança da cobertura em imagens.

### 2.7.1.2 Razão de imagens

Esta é a operação mais comum no processamento de imagens de sensoriamento remoto, sendo utilizada na determinação de índices de biomassa ou de vegetação, servindo para realçar intensamente as diferenças espectrais de um par de bandas (CRÓSTA, 1992).

Para JENSEN (1986), esta operação é especialmente usada na detecção de mudanças quando várias datas de imagens são usadas, onde podem ser reduzidos os efeitos do meio ambiente como sombreamento e diferenças sazonais.

Segundo HOWARTH e WICKWARE (1981), nesta operação a divisão é feita pixel a pixel, e quando o resultado da divisão for aproximadamente igual a 1.0, significa que não há diferença entre as bandas para aquele pixel, indicando que não houve alteração na área representada pelo pixel. Conseqüentemente, na região onde ocorreu mudança, o resultado pode ser maior ou menor que 1.0, dependendo da natureza da mudança da reflectância entre as duas datas.

A expressão matemática desta operação é a seguinte:

$$\Delta r_{ijk} = BV_{ijk}(T_1) / BV_{ijk}(T_2)$$

onde:  $\Delta r_{ijk}$  = razão multitemporal

$BV_{ijk}(1)$  = valores de brilho no tempo 1

$BV_{ijk}(2)$  = valores de brilho no tempo 2

i = linha  
j = coluna  
k = banda

De acordo com QUINTANILHA (1990), as principais vantagens da técnica de razão de canais são:

- a) a atenuação dos efeitos atmosféricos e topográficos, pois se supõe que ambos influenciam igualmente os dois canais;
- b) permite a diferenciação de alvos dentro das cenas com valores de nível de cinza não proporcionais;
- c) permite a redução da dimensionalidade dos dados, uma vez que as informações mais importantes de dois canais estarão representadas numa única imagem.

### 2.7.1.3 Comparação pós-classificação

Segundo WEISMILLER *et al.* (1977), esta técnica é baseada na comparação de duas classificações espectrais produzidas independentemente.

JENSEN (1986) afirma que um algoritmo simplesmente compara dois mapas classificados utilizando pares de classes específicos pelo analista, sendo produzido um mapa com as indicações de áreas de mudança. Depois de codificados os resultados das classificações para as duas datas, é produzido um mapa que mostra uma matriz de alterações. Conseqüentemente, é possível identificar não somente os pixels onde ocorreram mudanças entre as datas, mas também a natureza destas mudanças (HOWARTH e WICKWARE, 1981).

Para MEDEIROS (1987), esta técnica é talvez a que apresenta maior fonte de erros, visto que as variações existentes nas imagens entre os valores de um dado pixel ou grupo de pixels, para os alvos que não sofreram alterações, somam-se ainda os problemas inerentes às classificações, como por exemplo os erros nas classificações das imagens de uma data ou de ambas as datas, por causa dos pixels não necessariamente coincidentes.

#### 2.7.1.4 Classificação temporal-espectral

Esta classificação detecta mudanças em classificações de dados multitemporais. São utilizadas 8 bandas de dados espectrais, 4 para cada data, onde é utilizada técnicas de reconhecimento de padrões (JENSEN, 1986).

Segundo WEISMILLER *et al.* (1977), usando-se dados de mesma época do ano, aproximadamente mesmo dia, mas de anos diferentes, espera-se que classes onde ocorreram mudanças tenham estatísticas significativamente diferentes das classes onde não ocorreram mudanças.

Para JENSEN (1986), este método pode usar técnicas de classificação supervisionada, na qual o analista seleciona áreas de treinamento que são usados na determinação de assinaturas para classes de interesse, ou técnicas de classificação não supervisionada, nas quais fenômenos são agrupados em classes similares baseados em suas propriedades estatísticas. Em cada caso, as classes onde ocorreram mudanças terão resultados estatisticamente diferentes das classes onde não ocorreram mudanças.

#### 2.7.1.5 Análise por principais componentes

O objetivo do uso da análise por principais componentes envolve a decomposição de dois conjuntos de 4 canais com alta correlação entre si, sendo que cada conjunto possui datas distintas. As partes da cena onde há ausência de correlação, são as que apresentam alterações. A primeira e a segunda componente representarão regiões sem alterações, e as demais componentes, regiões com alterações (BYRNE, CRAPPER e MAYO, 1980).

Segundo RIBED e LÓPEZ (1995), comparações com mapas temáticos feitos por classificação não supervisionada, mostram que a transformação por principais componentes permitem um bom delineamento de áreas com queimadas, oferecendo uma idéia dinâmica de sua recuperação, realçando somente áreas onde ocorreram mudanças ao longo do tempo. Nos outros métodos de detecção de alteração como por exemplo subtração e divisão, este

autor também afirma que uma grande quantidade de informações é ignorada devido ao fato de serem utilizadas somente duas bandas por vez.

Para JENSEN (1986), a análise por principais componentes na detecção de alterações surge como uma técnica promissora envolvendo pré-processamento de imagem.

## 2.8 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA “SIG”

TEIXEIRA *et al.* (1995) definem SIG como um conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas (usuário), perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georeferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação.

Para ALVES (1990), de uma maneira geral, SIG's tratam dados para os quais propriedades de natureza espacial são muito importantes. Propriedades como posição, altura, vizinhança e outras, requerem métodos de tratamento específicos, incorporados por estes sistemas.

Um SIG é alimentado por informações de fontes diversas como levantamentos em campo (usados sempre que não existirem documentos sobre a área de estudo), cadastros, mapas e dados de sensores remotos.

Para HOWARD (1991), um Sistema de Informação Geográfica trabalha com dados espaciais em termos de suas coordenadas x, y, z. Ajuda a reduzir os erros humanos e eliminar muitos mapeamentos e fases de projetos, sendo rápidos e eficientes na produção de informações espaciais incluindo mapas com vários planos de informação “PI”, cálculo de distâncias entre pontos e linhas, transferência interativa de dados, manejo de sistemas de informação e sistemas de análise digital.

De acordo com SOUZA, CÂMARA NETO e ALVES (1990), a unidade de trabalho maior no SIG é o **Projeto** que corresponde a uma determinada região e pode compreender dados com características diferentes, como por exemplo, descrição de uso do solo, modelos digitais do terreno, imagens, etc.

Segundo FELGUEIRAS e AMARAL (1993), dentro de um projeto existem **Planos de Informação (PI's)**, que contêm dados de natureza semelhante. Esses planos são determinados pelas necessidades da aplicação que será trabalhada no SGI. Cada **PI** contém uma série de objetos gráficos que podem, ou não, estarem agrupados segundo temas ou classes, pré-definidos pelo usuário. Os atributos gráficos e as classes desses objetos estão armazenados junto com as informações espaciais que descrevem a geometria dos mesmos.

O sucesso de um SIG dependerá do tipo, precisão e detalhes contidos nos dados de entrada.

Numa visão abrangente, pode-se indicar que um SIG tem os seguintes componentes: interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem de banco de dados geográficos. Estes componentes se relacionam de forma hierárquica no nível mais próximo ao usuário. A interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de entrada, de processamento, de visualização e de saída de dados espaciais (ASSAD e SANO, 1993).

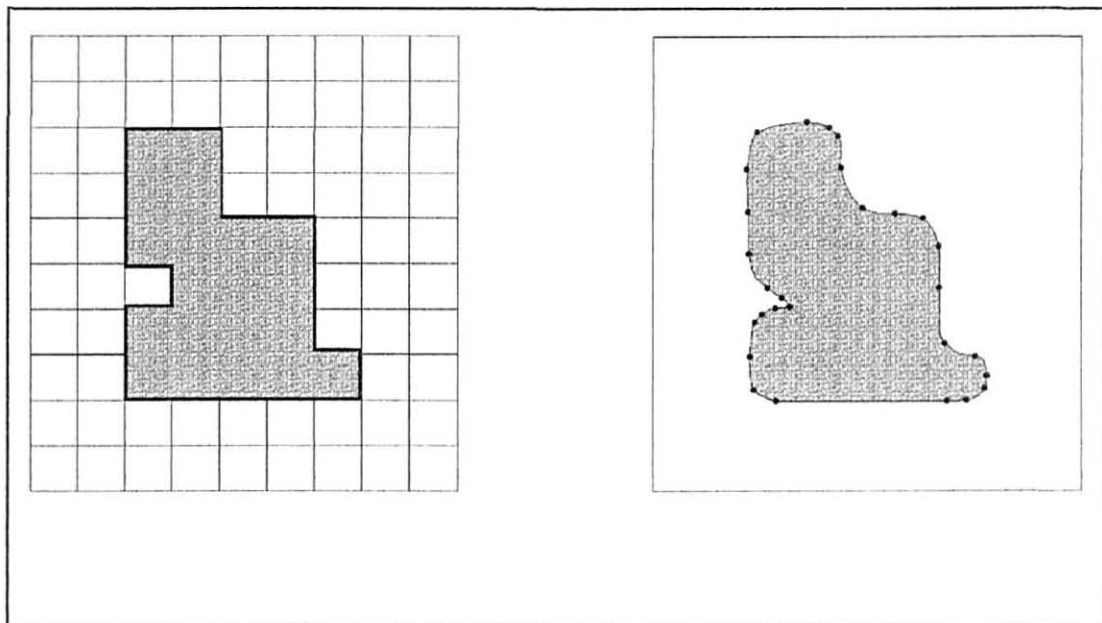
### 2.8.1 FORMATOS DE REPRESENTAÇÃO DE DADOS

De acordo com CONGALTON e GREEN (1992), dados geográficos podem ser representados pelos formatos "raster" e "vector". Dados raster são caracterizados por um grid ou formatos em pixel, que são referenciados através de sistemas de coordenadas (p.ex. latitude e longitude). Dados digitais e dados de sensoriamento remoto, como imagens de satélite, são exemplos de dados raster. Dados em formato vector são representados por vetores ou polígonos, os quais usam uma série de pontos (coordenadas x e y) para definir a posição do objeto de interesse (Figura 7).

Segundo ALVES (1990), um SIG contém dados geométricos que podem se apresentar nos formatos raster e vector, e dados não geométricos que são atributos de objetos ou informações auxiliares que descrevem

características não geométricas, utilizando-se para manipulação destes dados, banco de dados convencionais. Um **PI** contém dados de uma única categoria, que podem estar em distintos formatos, correspondentes a diferentes etapas do processo de aquisição e que podem ser utilizados por diferentes processos de manipulação.

FIGURA 6- TIPOS DE FORMATOS: RASTER (ESQUERDA)  
E VECTOR (DIREITA)



FONTE: CONGALTON e GREEN (1992, p.14).

Para SOUZA, CÂMARA NETO e ALVES (1990), os principais formatos de representação de dados em um SIG são:

a) raster:

matriz 2D de valores inteiros (0 a 255). No SGI, todas as categorias admitem dados no formato "raster"; dados vetoriais que podem ser convertidos para o formato "raster", o que permite realizar uma série de manipulações no sistema.

b) polígono:

compreendem regiões representadas por um conjunto de arcos (linhas poligonais). Cada polígono é construído a partir da ligação dos arcos que o constituem.

c) amostras 3D:

formato de representação de modelos numéricos de terreno (MNT). Neste formato um modelo numérico do terreno é representado como um conjunto de amostras para as quais são definidos valores para x, y, z.

d) grades:

formato de representação de MNT apropriados para algoritmos de estimação e interpolação.

e) isolinhas:

formato de representação de MNT. Este formato corresponde à forma tradicional de visualização de MNT's.

f) pontos:

elementos geográficos individuais no espaço.

## **2.9 INTEGRAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO COM SIG NO ESTUDO DE RECURSOS NATURAIS**

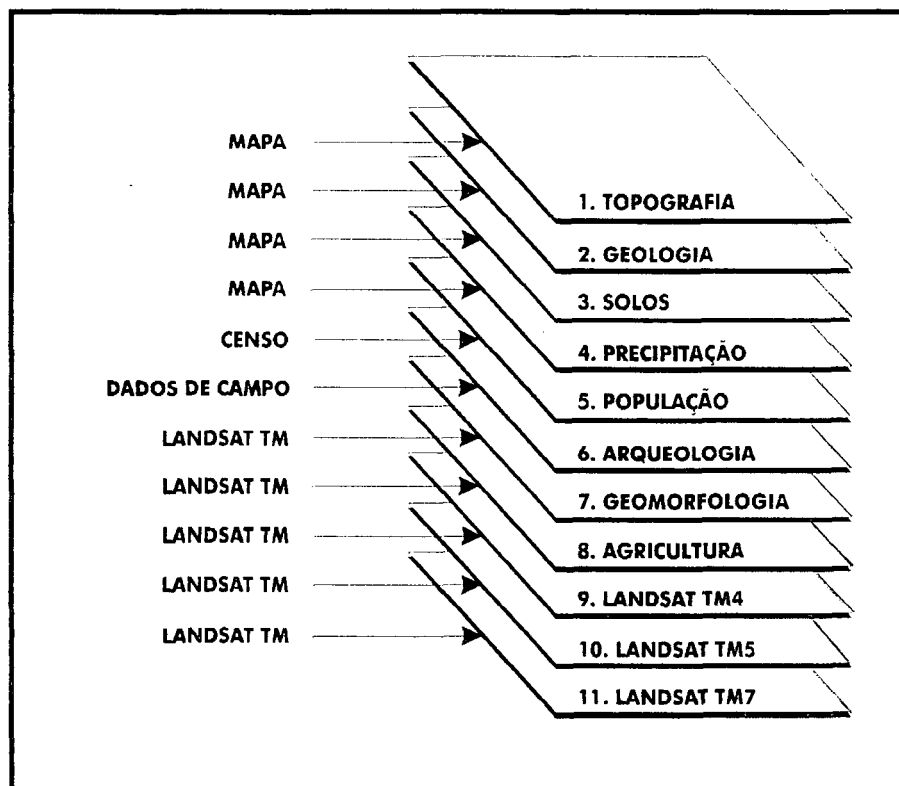
A partir da interpretação de imagens orbitais de multisensores e multitemporais, são extraídas informações sobre as principais variáveis que influenciam nos fatores condicionantes ao meio físico. Estas informações são integradas e classificadas através de um SIG. Este processo pode ser melhor compreendido observando-se a figura 8.

Segundo CURRAN (1985), um dos principais processos para se integrar dados de sensoriamento remoto com SIG, consiste em se criar uma base de dados em forma de grid, convertendo os dados de sensoriamento remoto em um mapa temático, sendo corrigidos geometricamente para serem integrados com outros planos de informação.

De acordo com LACHOWSKI, MAUS e PLATT (1992), um SIG considera dados de sensoriamento remoto como uma fonte de dados através de PI's. Global Positioning systems (GPS) podem ser integrados também ao sistema para fornecer informações como localização e elevação de feições. Este tipo de integração é utilizada no desenvolvimento e monitoramento de

planos florestais, mapeamentos ecológicos e análises e manejo de recursos naturais (Figura 9).

FIGURA 7- INTEGRAÇÃO DE DADOS TM/LANDSAT COM OUTROS PLANOS DE INFORMAÇÃO.

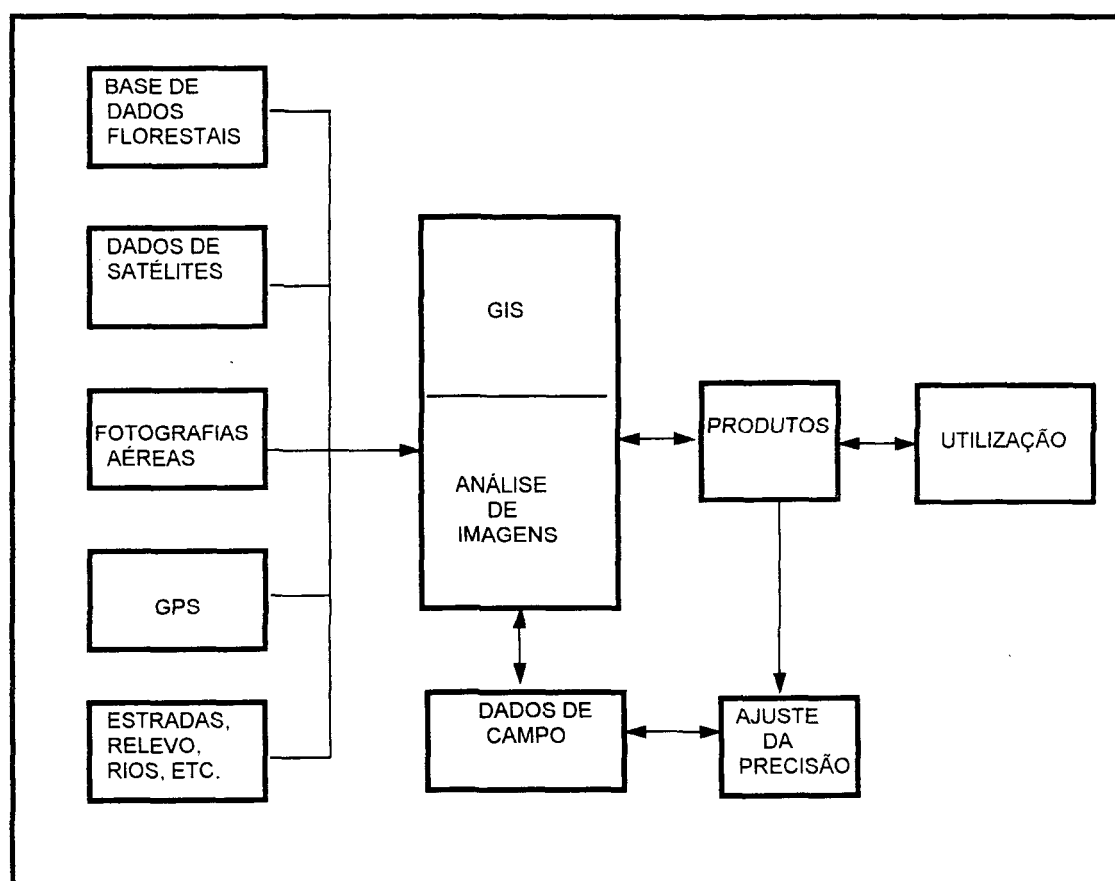


FONTE: CURRAN (1985, p. 223), adaptada:

Imagens de satélite podem ser integradas com SIG para a análise de recursos naturais com as seguintes finalidades, segundo GREEN (1992):

- a) produção de mapas temáticos;
- b) fonte de dados;
- c) auxílio de informação para aumentar a precisão na classificação de imagens.

FIGURA 8- ANÁLISE DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO  
COM OUTRAS FONTES DE DADOS.



FONTE: LACHOWSKI, MAUS e PLATT (1992, p. 17)

Objetivando realizar análise multitemporal utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na Chapada do Araripe (CE), FREITAS FILHO e MEDEIROS (1993), afirmam que a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, sobretudo em dados coletados por sensores orbitais, apresentam comprovado nível de eficiência em atividades voltadas para os recursos naturais, sendo que a integração entre dados obtidos a partir da interpretação de fotografias aéreas convencionais e imagens de satélite é essencial, uma vez que elas são complementares entre si.

AMARO e MEDEIROS (1990), realizando mapeamento das alterações da cobertura vegetal natural utilizando imagens TM Landsat e SGI, afirmam que o procedimento metodológico empregado permitiu a determinação das áreas de vegetação natural alteradas na área de estudo.

AZEVEDO *et al.* (1993), aplicaram técnicas de interpretação visual de imagens TM Landsat, trabalhos de campo e SGI, no monitoramento de ambientes fitoecológicos na Floresta Nacional de Tapajós. Tal abordagem metodológica visou mostrar a situação em que se encontra esta reserva natural, com relação as alterações (desmatamentos) que ocorreram na cobertura vegetal até o ano de 1991. Verificou-se que os resultados foram avaliados com grande precisão, considerando-se os objetivos propostos.

Utilizando dados Landsat (MSS e TM) e técnicas de geoprocessamento no monitoramento de cobertura florestal na área de influência da ferrovia Carajás-São Luis, FARIA, KRUG e SHIMABUKURO (1993), concluíram que a metodologia proposta mostrou-se adequada para a avaliação da alteração da cobertura florestal na área de influência desta ferrovia, propiciando uma análise multitemporal, sinóptica e ao mesmo tempo pontual, através de células georeferenciadas.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A área de estudo compreende todo o litoral situado entre os Municípios de Pontal do Paraná e Matinhos, tendo como limite interior o Rio Guaraguaçu, perfazendo uma área total de 18120,96 Ha.

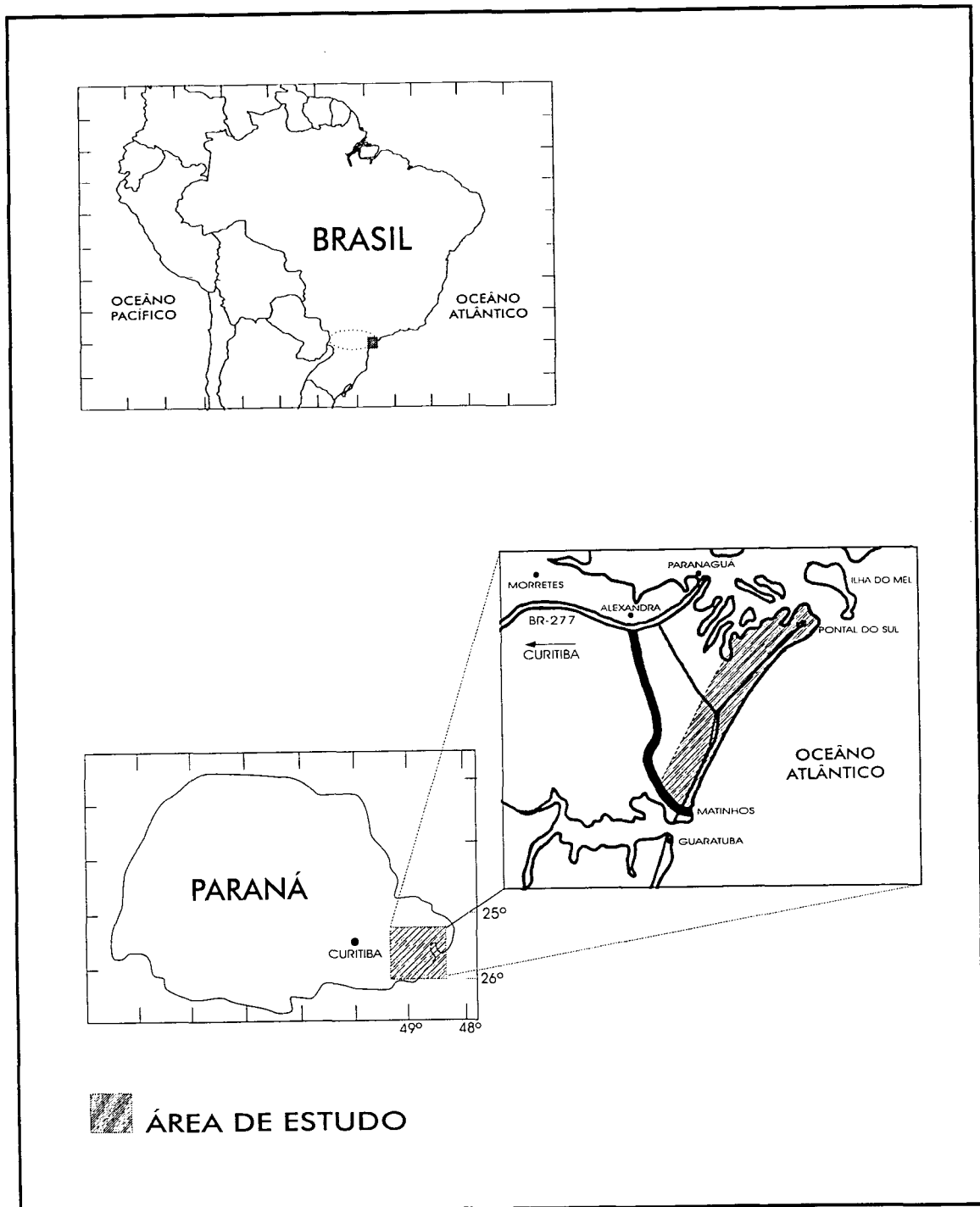
Encontra-se entre os paralelos  $25^{\circ} 30'$  e  $26^{\circ} 00'$  de latitude sul e  $48^{\circ} 15'$  e  $48^{\circ} 45'$  de longitude oeste, e está contida na órbita 220/78 N, Thematic Mapper/LANDSAT 5 (Figura 10).

A região possui, segundo Köppen, um clima Tropical Superúmido, sem estação seca, com temperatura média em todos os meses do ano superior a  $18^{\circ} \text{C}$  (Megatérmico), precipitação média do mês mais seco acima de 60 mm e isento de geadas. O índice pluviométrico apresenta uma média anual de 2000 mm. (IAPAR, 1994).

O sistema hidrográfico da bacia Atlântica é geologicamente recente, uma vez que seus rios ainda não sofreram compensação, sendo constantemente rejuvenescidos pelos levantamentos epirogenéticos, como se deduz das inúmeras corredeiras e saltos e da velocidade da correnteza, conforme MAACK (1981), sendo que a área de estudo é composta pela bacia dos rios Guaraguaçu, Penedo, Perequê, Peri e Onça.

Quanto ao relevo, este pertence a chamada “Unidade de Relevo das Planícies Descontínuas”, que constituem uma estreita faixa de terras situadas na porção mais oriental da Região Sul junto ao Oceano Atlântico, com altitudes médias situando-se em torno dos 10m (FUNDAÇÃO IBGE, 1990).

FIGURA 9- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



### 3.2 ASPECTOS GERAIS DA ÁREA

De acordo com RODERJAN e KUNIYOSHI (1988), a vegetação regional pode ser enquadrada como Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas ou das Planícies Quaternárias e Áreas de Formações Pioneiras.

Ocupando as planícies e terraços de sedimentos arenosos sobre solos podzóis de drenagem moderada, este tipo florestal é representado em sua maior parte por uma formação arbórea bem desenvolvida, com elementos dominantes formando um dossel denso e homogêneo em torno de 20 a 25 metros de altura.

Com o ambiente tipicamente tropical, o clima quente e úmido favorece a presença de numerosas epífitas, lianas e palmáceas. Estas florestas podem apresentar variações discretas na sua composição e estrutura, em função de condições de drenagem dos seus solos e da fertilidade destes, que variam basicamente em função de deposições aluviais. O fator condicionante é, portanto, essencialmente edáfico (FUNDAÇÃO IBGE, 1992).

Com relação as espécies encontradas neste ambiente, convém ressaltar que a diversificação ambiental, por ação dos gradientes ecológicos, permite que, conforme as situações, certos grupos de espécies sejam estimulados a se difundirem em detrimento de outros, menos adaptados, assumindo o predomínio fisionômico da formação ( FUNDAÇÃO IBGE, 1990).

Esta planície apresenta limitações ao desenvolvimento de espécies fisionomicamente representativas dos ambientes mais secos (Formações Florestais Sub-Montanas e Montanas). Nela, por vezes, ainda se encontram agrupamentos florestais onde se podem observar espécies peculiares dos andares superiores da floresta primitiva. São, principalmente em ordem de importância: figueira-de-folha-miúda (*Ficus organesis*), tapiá-guaçu (*Alchornea triplinervia*), olandi (*Calophyllum brasiliense*), ipê-amarelo (*Tabebuia umbellata*) e guaçu-de-leite (*Pouteria venosa*), dentre outras.

O outro tipo é aquele de Formações Pioneiras de Influência Fluvial, formada por espécies colonizadoras de ambientes novos, isto é, de áreas subtraídas naturalmente a outros ecossistemas ou surgidas em função da atuação recente ou atual dos agentes morfodinâmicos e pedogenéticos. São

formações aplainadas do quaternário recente, formadas pela deposição de material carregado principalmente durante as cheias dos rios. Em face disto, geralmente são terrenos férteis, porém com amplas áreas deprimidas periódica ou permanentemente encharcadas. Trata-se de terrenos com características edáficas especiais, onde a água em excesso constitui-se num elemento inibidor e seletivo da vegetação, impedindo o desenvolvimento de uma cobertura vegetal mais exuberante e heterogênea. De modo geral, são dominadas por ciperáceas e gramíneas altas. Dentre as ciperáceas, merecem destaque o piri (*Scirpus californicus*) e tiriricas (*Rhynchospora emaciata*, *Fimbristylis autumnalis* e *Rhynchospora tenuis*). O grupo de gramíneas é formado principalmente por macega (*Hypogynium virgatum*), capim-caninha (*Andropogon lateralis*), espécies de *Paspalum*, *Festuca*, *Leptocoryphium*, etc. (FUNDAÇÃO IBGE, 1990).

Segundo FUNDAÇÃO IBGE ( 1990 ), o tipo de solo encontrado sob esta região é do tipo Podzol. São solos arenosos, com nítida diferenciação de horizontes, usualmente com sequência A1, A2, Bh (concentração de húmus) e /ou Bir (concentração de ferro). São solos ácidos, extremamente pobres em nutrientes minerais disponíveis para as plantas. Em alguns locais da área de estudo é encontrado horizonte A turfoso, caracterizando o que usualmente é classificado como Podzol hidromórfico, podendo ocorrer ainda solos Orgânicos e Areias Quartzosas.

As restrições para uso agrícola ocorrem devido à textura arenosa, muito baixa fertilidade, excesso de água por apresentar drenagem deficiente em razão da baixa permeabilidade dos horizontes Bh e Bir, que geralmente encontram-se bastante cimentados.

Com relação ao uso da terra, de acordo com trabalho realizado pela FUNDAÇÃO IBGE ( 1990 ), a vocação natural da região, seguramente não é a agricultura. Os seus terrenos, em grande parte movimentados, são inadequados às práticas agrícolas convencionais e classificados como de preservação permanente pelo código florestal, apresentando geralmente sérias limitações relacionadas à qualidade dos solos que, excessivamente hidromórficos e/ou arenosos lixiviados, dependem de vultosos investimentos em drenagem, corretivos, fertilizantes, etc.

Estas áreas são submetidas principalmente a pastagens, culturas de cana-de-açúcar, arroz, milho e mandioca, sendo observado nos últimos anos, em vários locais desta planície, a prática da piscicultura.

### 3.3 MATERIAL

#### 3.3.1 DADOS UTILIZADOS

##### 3.3.1.1 Dados Orbitais do TM/LANDSAT

Foram empregadas imagens do sensor THEMATIC MAPPER / LANDSAT 5, da órbita 220 ponto 78 quadrante N, datadas de 14 de setembro de 1986 e de 18 de julho de 1994 respectivamente, utilizando as bandas TM 1 a 5 e 7 destas datas.

##### 3.3.1.2 Fotografias Aéreas

Foram utilizadas fotografias aéreas de pequeno formato, coloridas, 35 mm, ampliadas, de tamanho 24,8 x 19,7 cm, em escala de 1:8000 obtidas em 1994, pela Agritec S/A Agrimensura e Aerofotogrametria, abrangendo 60% da área de estudo.

##### 3.3.1.3 Dados Auxiliares

QUADRO 4- CARTAS TOPOGRÁFICAS DA DSG, ESCALA 1:50000  
QUE RECOBREM A ÁREA DE ESTUDO

Folha	Código	Data de elaboração	Datum Vertical	Datum Horizontal
Guaratuba	SG.22-X-D-V-4	1992	Imbituba S.C.	SAD-69
Pontal do Paraná	SG.22-X-D-VI-1	1992	Imbituba S.C.	SAD-69

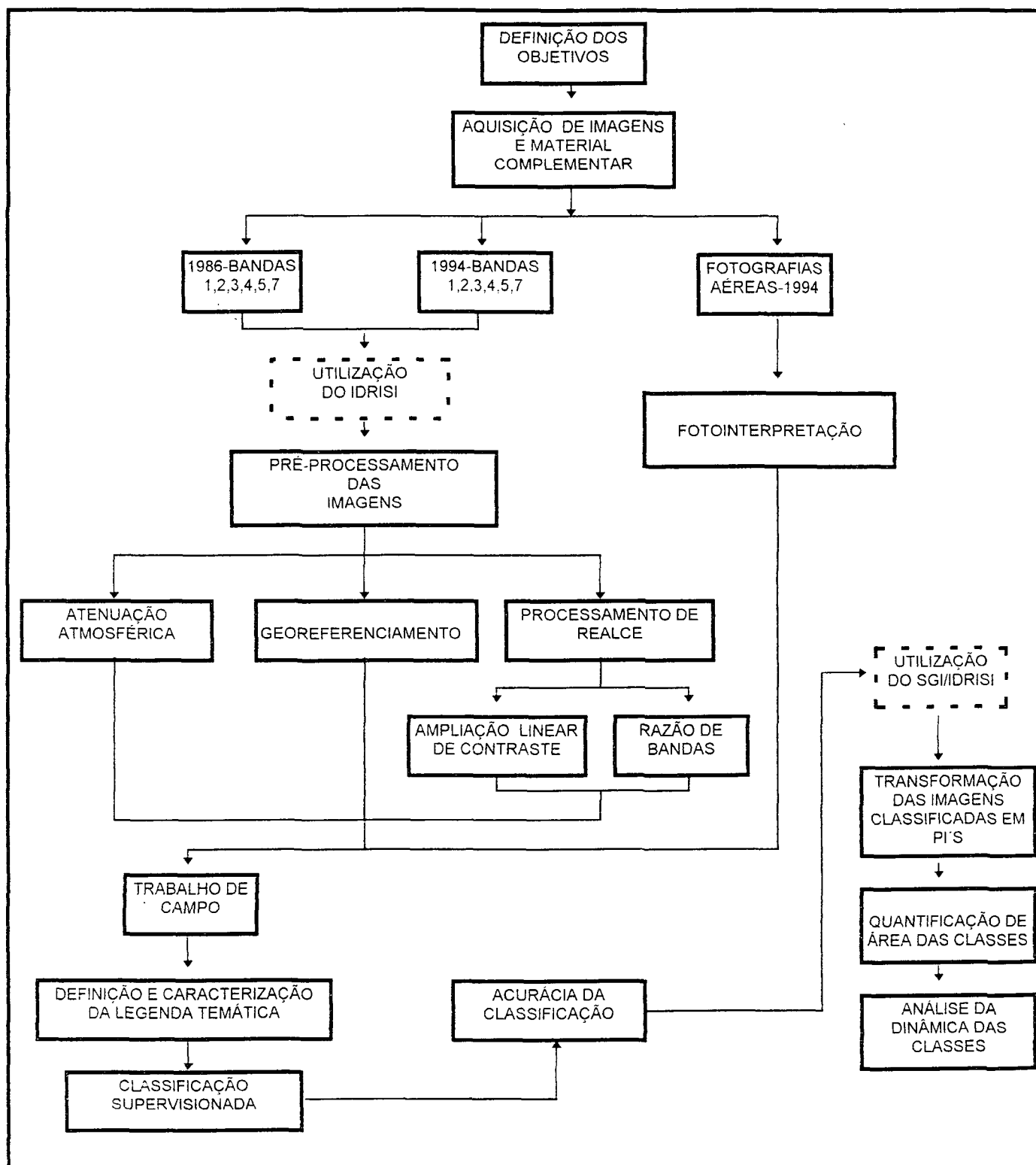
### 3.3.2 EQUIPAMENTOS E SISTEMAS

Todo o estudo foi desenvolvido em plataforma PC, WORKSTATION e SIG, utilizando o software IDRISI/DOS versão 4.20, do Laboratório de Sensoriamento Remoto do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, e para a fotointerpretação foi utilizado um estereoscópio modelo "WILD ST4" também deste Departamento. Nos trabalhos de campo, para a coleta dos pontos de controle, foi utilizado um GPS modelo "45<sup>TM</sup> GARMIN" do Departamento de Silvicultura e Manejo do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná.

### 3.4 MÉTODOS

Tendo como objetivo principal a detecção de alterações da vegetação, a abordagem metodológica, elaborada para tratar os dados sensoriados e complementares nos anos de 1986 e 1994, ficou sintetizada no fluxograma contido na figura 10.

FIGURA 10- FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES



### 3.4.1 PRÉ-PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

#### 3.4.1.1 Atenuação dos efeitos atmosféricos

Com o objetivo de melhorar a qualidade visual das imagens através da uniformização dos padrões de cobertura vegetal e uso da terra, foi realizada a minimização dos efeitos atmosféricos, onde foi aplicado o Método de Subtração do Píxel Escuro (CHAVEZ JR., 1975) através da análise dos píxels das amostras da classe CORPOS D' ÁGUA.

Analisando-se as amplitudes dos valores de DN's dos píxels nas bandas espectrais TM1 a 5 e 7, foram definidos os valores digitais que deveriam ser utilizados para a aplicação do método. Após a escolha de um determinado valor digital em cada banda espectral, foi aplicado o método através da função do módulo principal *Database Query / Map Algebra* e da função do módulo secundário *Scalar*, e em seguida feita uma avaliação prévia dos resultados obtidos, através da classificação pelo Método do Paralelepípedo, conforme sugestão de WATRIN (1994), para verificar se os dados subtraídos das respectivas bandas espectrais, comprometiam as informações da imagem final.

#### 3.4.1.2 Registro das Imagens

Devido a abordagem multitemporal deste trabalho, foi necessário o registro das imagens nas respectivas datas, para que se pudesse realizar comparações pixel a pixel. Foi realizado o registro das imagens nas respectivas datas com as cartas topográficas da DSG "georeferenciamento" para ambas as datas através da função de Mapeamento Linear utilizando o interpolador vizinho mais próximo. Este procedimento, conforme DAVISON (1986), não altera os níveis de cinza da imagem de saída, de maneira que um mesmo pixel com a sua respectiva coordenada passa a representar a mesma porção do terreno em ambas as datas.

Esta operação foi feita através de um processo denominado interpolação espacial, onde ocorre uma transformação das coordenadas geométricas de todos os píxels das imagens utilizadas (JENSEN, 1986).

Através da função do módulo principal *Spatial Data Management* e do módulo secundário *Resample*, foi então escolhida a função de Mapeamento Linear.

Com relação ao número mínimo de pontos de controle utilizados para operações de georeferenciamento, estes dependem do grau do polinômio utilizado, e são expressos através da seguinte equação:

$$(t + 1)(t + 2) / 2, \text{ onde "t" é o grau do polinômio.}$$

Consequentemente, para a função de Mapeamento Linear, utilizada neste trabalho, são necessários pelo menos 3 pontos de controle. Para a data de 1986 foram utilizados 8 pontos e para a data de 1994, 13 pontos.

A precisão desta operação, foi determinada por um erro ou desvio denominado erro da raiz quadrada média (RMS), que é a distância entre as coordenadas reais e as coordenadas transformadas para um mesmo ponto, sendo expresso pela seguinte equação:

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

onde,

$x_i$  e  $y_i$  são coordenadas reais, e

$x_r$  e  $y_r$  são coordenadas transformadas

Através do cálculo do RMS para cada ponto de controle, foi possível verificar o erro ou desvio para cada um destes pontos, como também o somatório para todos os pontos utilizados nesta operação.

Caso em um cálculo prévio o valor do RMS se mostrar muito elevado, é possível diminuí-lo através da eliminação de pontos que apresentam amplos desvios (*outliers*). Dando sequência à operação, recalcula-se novos coeficientes, até que se chegue em valores aceitáveis.

Em trabalhos de georeferenciamento, JENSEN (1986), utilizando imagens TM Landsat na região de Charleston, Sul da Carolina (USA), partiu de 20 pontos de controle, e desconsiderou na análise 13 pontos para chegar a um valor de RMS aceitável.

Segundo EASTMAN (1994), o erro RMS é diretamente comparável ao conceito de desvio padrão, e neste trabalho está estimado em número de pixel.

COPPIN e BAUER (1994)<sup>3</sup>, citados por CARRILHO, SOARES e VALÉRIO FILHO (1996), recomendam que o erro em operações de georeferenciamento se situe próximo a 0,25 e nunca acima de 0,50 pixel, porém GREEN, KEMPLA e LACKEY (1994), afirmam que podem ser aceitos resultados com erro de até 1,7 pixel.

No registro de imagem com mapa para a cena de 1994, partiu-se inicialmente de 13 pontos de controle, sendo que no decorrer da operação para se chegar a um valor de precisão aceitável (0,5 pixel), foi necessário a omissão de 5 pontos que apresentaram desvios muito elevados. No registro da cena de 1986 com o mapa de referência, partiu-se de 20 pontos de controle, trabalhando-se no final da operação com 13 pontos, para se atingir a mesma precisão pré-estabelecida.

#### 3.4.1.3 Processamento de Realce das Imagens

Após a etapa de georeferenciamento das imagens nas bandas TM1 a 5 e 7, foram aplicadas técnicas de realce no sentido de avaliar as suas potencialidades quanto ao poder discriminatório de todas as classes de interesse (vegetação e uso da terra), para auxiliar em futuras operações de classificação espectral. Para tanto, foram realçadas individualmente todas estas bandas espectrais e também composições coloridas, através de Ampliação Linear de Contraste e Razão de Bandas Espectrais.

##### a) Ampliação Linear de Contraste

A técnica de Ampliação Linear de contraste foi aplicada através da função do módulo principal *Display* e no módulo secundário *Stretch* com o objetivo de aumentar o contraste das imagens, expandindo-se a amplitude original de níveis de cinza (SCHOWENGERDT, 1983).

Isso foi aplicado tanto nas bandas individuais TM1 a 5 e 7, como em composições coloridas criadas através do módulo principal *Image*

---

<sup>3</sup> COPPIN, P.R.; BAUER, M.E. Processing of multitemporal Landsat TM imagery to optimize extraction of forest cover change features. *IEEE Trans. on Geosc. and Remote Sensing*, v.32, n.4, p. 918-927, Jul. 1994.

*Processing* e no módulo secundário *Composit*, para o realçamento e caracterização das feições de interesse.

Considerando as propriedades de tonalidade e textura para a produção de uma imagem de qualidade interpretativa, foi utilizado, segundo a opção do sistema, uma quantidade de saturação de 5% tanto nas bandas individuais como nas composições, sendo possível uma boa visualização das feições.

#### b) Razão de Bandas Espectrais

Através da função do módulo principal *Database Query* e no módulo secundário *Overlay*, foi testada e aplicada esta técnica no sentido de se observar as mudanças nas características dos alvos de interesse. Para tanto, foram utilizadas as bandas TM1 a 5 e 7, e os seus resultados comparados com as bandas espectrais individuais.

Foram também testadas composições coloridas utilizando-se no triplete RGB não somente razões de bandas, como associações de razões de bandas com bandas individuais.

Segundo CRÓSTA (1992), a razão de bandas é uma operação não linear e para que possa ser mostrada em um monitor de vídeo, é necessário reescalonar os níveis de cinza resultantes em um intervalo de 0-255.

### 3.4.2 FOTOINTERPRETAÇÃO

Após a aplicação dos processamentos digitais "técnicas de realce", foi realizado uma análise das fotografias aéreas da área de estudo, com a finalidade de detectar os diferentes tipos de cobertura do terreno e subsidiar o trabalho de campo, servindo de apoio na definição dos sítios de treinamento e assinaturas espectrais para serem utilizadas nas rotinas de classificação.

Para tanto, foi feita a interpretação visual de 37 fotografias aéreas coloridas da região de estudo, levando-se em consideração a resposta

espectral, os padrões tonais e texturais, forma e arranjo espacial destes elementos.

### 3.4.3 TRABALHO DE CAMPO

*Esta etapa desenvolvida no campo foi realizada com o objetivo de se reconhecer e caracterizar a paisagem local, permitindo a definição dos limites espaciais de cada tema em suas respectivas coordenadas "UTM", e está descrita a seguir:*

#### 3.4.3.1 Reconhecimento e Caracterização da Paisagem

Foi realizado o reconhecimento das principais feições de cobertura vegetal e uso da terra na área de estudo em 08/11/1996, onde foram coletados 20 pontos de controle com o auxílio de um GPS (Garmin 45<sup>TM</sup> - Personal Navigator<sup>TM</sup>), que permitiu a localização geográfica (coordenadas UTM) precisa das feições identificadas.

Através de fotointerpretações realizadas em composições coloridas das imagens orbitais e fotografias aéreas da área de estudo, foi feita uma prévia determinação dos padrões de cobertura vegetal e uso da terra, para serem checadas através desta coleta dos pontos de controle.

Para a coleta destes pontos foram feitas incursões nas rodovias e seus principais ramais (vias primárias, secundárias e travessas) para o interior da área de estudo. Estes pontos foram distribuídos de maneira sistemática, para que pudessem abranger os padrões de cobertura vegetal e uso da terra identificados.

Esta fase do trabalho permitiu ainda correlacionar as feições espectrais presentes na imagem TM/Landsat com padrões de cobertura vegetal e uso da terra observados no campo, e também subsidiar a análise da capacidade de percepção dos alvos nas imagens realçadas.

#### 3.4.4 ASSINATURAS ESPECTRAIS

Após o "Reconhecimento e Caracterização da Paisagem", ítem 3.4.3.1, foram selecionadas as amostras de treinamento através da digitalização de um ou mais polígonos (arquivos vetoriais) nas composições coloridas que melhor realçaram as feições de interesse como por exemplo (R-4, G-5, B-7), (R-5, G-4, B-3). Estes polígonos foram compostos por pixels com determinada homogeneidade espectral nas suas respectivas classes, constatada pelo baixo desvio padrão na estatística final das amostras, levando-se em consideração que o número mínimo de pixels nunca fosse inferior a 100 conforme CRÓSTA, 1992. Este número visa permitir uma boa estimativa das características espectrais das classes consideradas, NOVO (1988).

Através da função do módulo principal *Image Processing* e do módulo secundário *Makesing* foram extraídas as assinaturas espectrais de todas as bandas consideradas, TM1a 5 e 7, utilizando-se para isto as amostras de treinamento para todas as classes estudadas.

Com o objetivo de se avaliar estatisticamente as assinaturas espectrais, foram utilizadas duas funções do módulo secundário:

- a) a primeira função, *Editising*, forneceu todas as informações estatísticas referentes a cada classe em cada banda, como por exemplo, nº total de pixels amostrados, amplitude dos valores de DN, média e desvio padrão;
- b) segunda função, *Sigcomp*, forneceu os gráficos das assinaturas espectrais para cada classe estudada.

Através da análise do espaço de atributos caracterizado pelo confronto de duas bandas espectrais, onde foram plotadas elipses representando cada classe estudada, pode-se ter uma base da distribuição das respectivas classes neste espaço, bem como da importância destas duas bandas na caracterização destas classes.

### 3.4.5 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Devido ao prévio conhecimento da área de estudo em função das operações de fotointerpretação, trabalho de campo quando da coleta dos

pontos de controle e a área apresentar uma grande homogeneidade para as classes de vegetação e uso da terra, facilitando a demarcação das áreas de treinamento, optou-se pela aplicação da classificação digital de imagens do tipo "Supervisionada".

Com relação ao algoritmo de classificação, foi utilizado o método "Maxima Verossimilhança" por ser o mais usual e que traz resultados mais precisos e consistentes comparando com outros métodos como o do Paralelepípedo e da Distância mínima (FULLER, GROOM e JONES, 1994).

Para as rotinas de classificação foram consideradas todas as bandas espectrais, TM1 a 5 e 7, porque segundo CRÓSTA (1992), quanto maior o número de bandas espectrais, maior será a precisão na classificação.

Esta operação foi iniciada através da função do módulo principal *Image Processing* e da função do módulo secundário onde foi especificado o algoritmo utilizado *Maxlike*. Na sequência da rotina de classificação de acordo com o sistema, foi considerada a mesma probabilidade para todos os pixels de pertencerem as classes consideradas, e escolhida a opção para que fossem classificados todos os pixels da área de estudo.

Com o objetivo de se eliminar o ruído das imagens classificadas representado por pixels isolados ou pequenos grupos de pixels que ocorrem próximos a áreas homogeneamente classificadas, foi aplicado um filtro de mediana para uma melhor homogeneização das respectivas classes.

#### 3.4.6 CLASSIFICAÇÃO TEMPORAL ESPECTRAL

Das técnicas de detecção de alterações discutidas no ítem "2.7.1", a classificação temporal espectral foi escolhida em função de que este método pode ser empregado quando técnicas de classificação supervisionada são utilizadas pelo analista (JENSEN, 1986).

Através de comparações dos resultados estatísticos nas classes espectrais para as duas datas consideradas, foi determinado e analisado a dinâmica destas classes no intervalo de tempo considerado.

Por estar se trabalhando com imagens de duas datas distintas adquiridas em 14/09/86 e 18/07/94, os problemas relacionados ao ângulo de incidência na tomada das imagens e seus efeitos na análise espectral, não foram levados em consideração neste trabalho na análise e discussão dos seus resultados.

### 3.4.7 TRANSFORMAÇÃO DAS CLASSES EM PLANOS DE INFORMAÇÃO "PI's"

Com o objetivo de analisar separadamente a dinâmica das respectivas classes de vegetação e uso da terra através do cálculo de área destas, contidas nos produtos digitais oriundos do método de classificação *Maxlike*, foi utilizado o SGI/IDRISI para transformar cada classe estudada em um plano de informação "PI".

Primeiramente foi criado um polígono (arquivo vetorial) representando o perímetro da área de estudo, através da digitalização realizada via monitor de vídeo, utilizando para isso a composição colorida falsa cor R-4, G-5, B-7. Através da função do módulo principal *Data Entry* e do módulo secundário *Initial*, este arquivo vetorial foi utilizado para "recortar" as imagens classificadas para o posterior cálculo de área das respectivas classes e outras imagens anexadas ao trabalho para fins ilustrativos.

Posteriormente através da função do módulo principal *Attribute Data Management* e do módulo secundário *Reclass*, as classes de vegetação e uso da terra foram separadas de suas imagens temáticas, transformando-se estas classes em "PI's", e utilizando a função do módulo principal *Database Query/Map Álgebra* e do módulo secundário *Área*, foi calculado a área para todas as classes estudadas nas duas datas consideradas e a posterior análise da dinâmica.

Estas classes foram também analisadas através de tabulação cruzada fornecida pela função do módulo principal *Statistical / Time Series Analysis* e do módulo secundário *Crosstab*, que através de uma matriz, pode-se determinar a percentagem das classes que não sofreram alteração, bem como o percentual de uma classe que foi convertido em outra no período de tempo analisado.

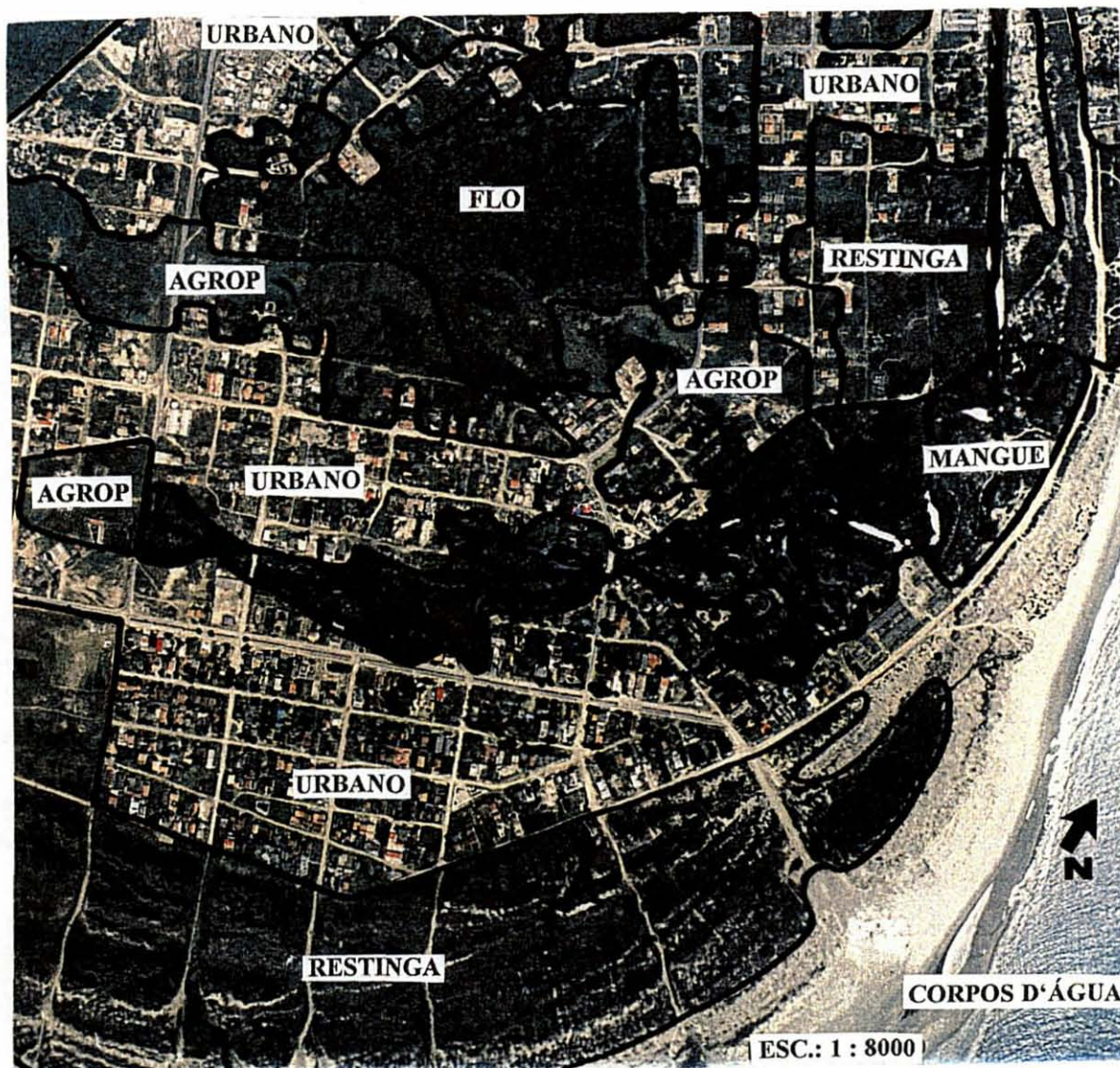
## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 FOTOINTERPRETAÇÃO**

Levando-se em consideração os objetivos deste trabalho, foram interpretadas e definidas nas fotografias aéreas, as seguintes classes de uso da terra, e estão ilustradas conforme figura 11:

- a) **FLO**: Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e Floresta Secundária (Floresta de Planície);
- b) **RESTINGA**: Formação Pioneira de Influência Marinha (Restingas);
- c) **AGROP**: Agropecuária;
- d) **MANGUE**: Formação Pioneira de Influência Fluviomarina (Manguezal e Várzea);
- e) **REFLO**: Reflorestamento;
- f) **URBANO**: Área Urbana;
- g) **CORPOS D'ÁGUA**: Corpos d'água.

FIGURA 11- VISTA PARCIAL DA ÁREA DE ESTUDO EM FOTOGRAFIA AÉREA , ILUSTRANDO O CONTORNO TEMÁTICO DAS CLASSES IDENTIFICADAS



**FLO:** Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e Floresta Secundária (Floresta de Planície); **RESTINGA:** Formação Pioneira de Influência Marinha (Restingas e Várzeas); **AGROP:** Agropecuária; **MANGUE:** Formação Pioneira de Influência Fluviomarina (Manguezal); **URBANO:** Área Urbana; **CORPOS D'ÁGUA.**

## 4.2 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA LEGENDA TEMÁTICA

Com base na interpretação das composições coloridas de satélite que apresentaram melhores realces das feições estudadas e das fotografias aéreas, como também das informações obtidas através dos trabalhos de campo, foi gerada uma legenda temática compreendendo quatro classes de cobertura vegetal e três de uso da terra, relatadas e ilustradas a seguir:

### 4.2.1 ÁREA URBANA

Esta classe refere-se a todas as regiões caracterizadas pela ocupação urbana como construções de um modo geral, desprovidas quase que totalmente de qualquer tipo de vegetação. Devido a resolução espacial do sistema sensor utilizado, os pequenos focos de vegetação como mostra a figura 12, não puderam ser identificados ao nível de imagem.

FIGURA 12- ÁREA URBANA



#### 4.2.2 SOLO EXPOSTO

Compreende todas as áreas desprovidas totalmente de qualquer tipo de vegetação e aquelas de ocupação urbana, ocorrendo principalmente próximas ao mar (praia) conforme figura 13.

FIGURA 13- SOLO EXPOSTO



#### 4.2.3 AGROPECUÁRIA

Nesta classe foram incluídos os terrenos utilizados para cultivos agrícolas, permanentes e cíclicos, e para pastagens (Figura 14).

FIGURA 14- AGROPECUÁRIA



#### 4.2.4 FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA MARINHA (RESTINGAS)

Conforme RODERJAN e KUNIYOSHI (1988), esta vegetação é caracterizada por um pequeno grupo de plantas herbáceas ocorrendo exclusivamente sobre as pequenas dunas próximas à praia, até nas mais interiorizadas e já consolidadas. A vegetação está, portanto, adaptada ao solo arenoso, pobre em substâncias nutritivas e reverberado por uma intensa e constante insolação, bem como por fortes ventos. Nestes locais ocorre um reduzido grupo de plantas psamófilas-halófilas, entre as quais são gramíneas (*Sporobolus virginicus*, *Panicum racemosum* e *Stenotaphrum secundatum*), a ciperácea *Remirea maritima* entre outras (Figura15).

FIGURA 15- FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA MARINHA (RESTINGAS ).



#### 4.2.5 FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA FLUVIOMARINHA (MANGUEZAL E VÁRZEA)

Esta classe é típica de ambiente salobro, situada na desembocadura de rios e regatos no mar, onde, nos solos limosos (manguitos), cresce uma vegetação especializada, adaptada à salinidade das águas e deficiência de oxigênio, com a seguinte sequência: *Rhizophora mangle*, *Avicennia*, cujas espécies variam conforme a latitude norte e sul e a *Laguncularia racemosa*, que cresce nos locais mais altos, só atingidos pela preamar (Figura 16).

FIGURA 16- FORMAÇÃO PIONEIRA DE INFLUÊNCIA  
FLUVIOMARINHA (MANGUEZAL E VÁRZEA)



#### 4.2.6 FLORESTA OMBRÓFILA DENSA DAS TERRAS BAIXAS (FLORESTA DE PLANÍCIE)

Esta classe ocupa a planície costeira do Quaternário, pouco acima do nível do mar. Desenvolve-se sobre a maior parte da planície de acumulação, em áreas pouco mais enxutas e elevadas com até 30m de altitude, originadas em consequência da ação de agentes morfodinâmicos e da interação terra-mar (LEITE, 1994).

A floresta desenvolve-se a partir de áreas com vegetação pioneira como caxetas ou restingas que perderam a fisionomia típica em função do desenvolvimento sucessional. Em geral, é menos exuberante e apresenta porte médio (15 a 20m), estrutura e fisionomia uniformes, repetindo quase sempre o mesmo padrão florístico e estrutural. As nuances locais são devidas, geralmente, a variações de nível do lençol freático.

A cobertura vegetal normalmente possui grande número de espécies de crescimento rápido (madeira de baixa densidade) e sub-bosque quase sempre pouco denso, exceto em certos locais onde se desenvolve tapete herbáceo

abundante, estabelecendo diferenciações de densidade entre os estratos da formação.

FIGURA 17- FLORESTA OMBRÓFILA DENSA DAS TERRAS  
BAIXAS (FLORESTA DE PLANÍCIE).



#### 4.2.7 REFLORESTAMENTO

Esta classe era ocupada exclusivamente por plantios florestais onde foram utilizadas espécies do gênero *Pinus*, onde estão observados próximo ao Balneário Guaciara (Figura 18).

FIGURA 18- REFLORESTAMENTO.



### 4.3 PRÉ-PROCESSAMENTO DE IMAGENS

#### 4.3.1 ATENUAÇÃO DOS EFEITOS ATMOSFÉRICOS

Analisando-se primeiramente as amplitudes dos valores digitais nas imagens brutas (sem correção atmosférica), observou-se que estes valores mostraram-se muito altos principalmente para as bandas do visível, representando quase que a totalidade das feições espectrais presentes na imagem, com exceção para os alvos da classe URBANO, que apresentaram valores de brilho muito altos. Estes valores altos podem ser explicados não só devido a influência atmosférica, como também locais em que a água apresenta grande concentração de sedimentos. Já para as bandas do infravermelho, estes valores apresentaram-se mais satisfatórios.

Com base nestas observações e nas amplitudes dos valores digitais da cena inteira, foram determinados os respectivos valores digitais a serem utilizados para as operações de subtração do píxel escuro em cada banda espectral, TM 1 a 5 e 7.

Após a realização destas operações em cada banda espectral, foi realizada uma inspeção visual nestas bandas individuais como também em composições coloridas, no sentido de não se perder informações das classes estudadas.

Conforme observado na TABELA 1, em algumas bandas espectrais não foi possível realizar a operação de subtração do píxel escuro em função de seus respectivos valores digitais mínimos serem iguais a zero na cena original.

TABELA 1- VALORES DIGITAIS EMPREGADOS PARA ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA DAS IMAGENS TM/LANDSAT UTILIZADAS

DATA DAS IMAGENS	VALORES DIGITAIS SUBTRAÍDOS					
	TM 1	TM 2	TM 3	TM 4	TM 5	TM 7
14 / 09 / 86	5	24	0	7	0	0
18 / 07 / 94	3	0	0	0	0	0

#### 4.3.2 GEOREFERENCIAMENTO DAS IMAGENS:

No registro de imagem com mapa para a data de 1994 utilizando 8 pontos de controle, o valor do RMS foi de 0,364048, enquanto que para a data de 1986, utilizando 13 pontos de controle, o valor do RMS foi de 0,331661, conforme tabelas 2 e 3.

TABELA 2 - COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE PARA O REGISTRO DE IMAGEM x MAPA PARA A DATA DE 1986

N	IMAGEM		MAPA (UTM)		DESVIO
	X	Y	X	Y	
1	1755,4736	1908,5264	747350	7176750	0,612058
2	1641,5000	1726,6666	742650	7171950	0,255715
3	1745,3750	1690,6250	745500	7170325	0,527939
4	1688,5714	1654,7144	743550	7169575	0,231930
5	2589,4839	1917,5161	772325	7172575	0,143247
6	2339,4546	1800,5454	764025	7170450	0,242918
7	2373,4546	1761,4546	764775	7169100	0,477155
8	2398,3999	1789,6000	765700	7169800	0,336159
9	2058,4285	1280,5714	751925	7156575	0,800896
10	1916,4445	988,5555	745600	7148675	0,362246
11	2009,4445	919,5555	747875	7146125	0,245020
12	1810,4286	943,5714	742100	7147900	0,214395
13	1982,5000	741,6000	745800	7141000	0,358611

TABELA 3- COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE PARA O  
REGISTRO DE IMAGEM x MAPA PARA A DATA DE 1994

N	IMAGEM		MAPA (UTM)		DESVIO
	X	Y	X	Y	
1	2563,5000	1782,6000	764025	7170450	0,270787
2	2596,0000	1744,0000	764780	7169100	0,286682
3	2566,0000	1800,0000	764175	7170950	0,520314
4	2294,3999	1328,6000	753530	7158150	0,440138
5	2041,5000	906,7500	743700	7146700	0,618284
6	1982,4000	930,6000	742100	7147750	0,548494
7	2019,4000	893,4000	742975	7146450	0,641492
8	2172,3333	802,500	747025	7142850	0,091159

Analisando os desvios em cada ponto nas duas datas, pode-se concluir que apesar dos pontos 3, 5, 6 e 7 na data de 1994 apresentarem um desvio superior ao aceitável( 0,5 pixel), este fato não acarreta grandes problemas uma vez que o desvio total "RMS" foi de 0,364048. O mesmo ocorre com os pontos 1, 3 e 9 para a data de 1986, considerando que o "RMS" foi de 0,331661.

Esta variação do número de pontos de controle para as duas datas, 8 para 1994 e 13 para 1986, é explicado em função da alteração ambiental, e conseqüentemente espectral ocorrida neste intervalo de tempo, não sendo possível identificar os mesmos pontos observados em 1986, na data de 1994.

#### 4.3.3 PROCESSAMENTO DE REALCE

Com o objetivo de detectar e discriminar os alvos de interesse tomando-se como base a fotointerpretação e informações de campo, foram aplicadas técnicas de realce nas imagens para a posterior análise visual, no sentido de se melhor caracterizar e discriminar as classes espectrais estudadas.

#### 4.3.3.1 Ampliação Linear de Contraste

Na avaliação de suas potencialidades, o produto gerado por esta técnica teve uma melhora considerável para a discriminação das classes de interesse quando comparadas com as imagens originais, uma vez que foram bem caracterizadas todas as classes estudadas (Figura 19).

Dentre as possíveis combinações de tripletes de bandas RGB testadas com este algoritmo considerando as seis bandas espectrais TM1 a 5 e 7, as que apresentaram um alto contraste de cores para as feições de cobertura vegetal e uso da terra foram (R3, G4, B5), (R4, G5, B7), (R4, G5, B3), (R5, G4, B3), (Figuras 20 e 21).

Foram também observadas as bandas TM individuais com esse tipo de tratamento, sendo que o resultado observado não foi o mesmo que nas composições coloridas, tornando-se limitado o poder de detecção e discriminação das feições espectrais de interesse. Entretanto, estas bandas TM individuais realçadas foram bastante úteis em operações de georeferenciamento, na identificação de pontos de controle.

FIGURA 19- COMPOSIÇÃO COLORIDA , FORMADA PELAS BANDAS REALÇADAS POR AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE (5% DE SATURAÇÃO). R4, G5, B7, 18/07/94.  
ESC. APROX. : 1:240000, PROJEÇÃO UTM.

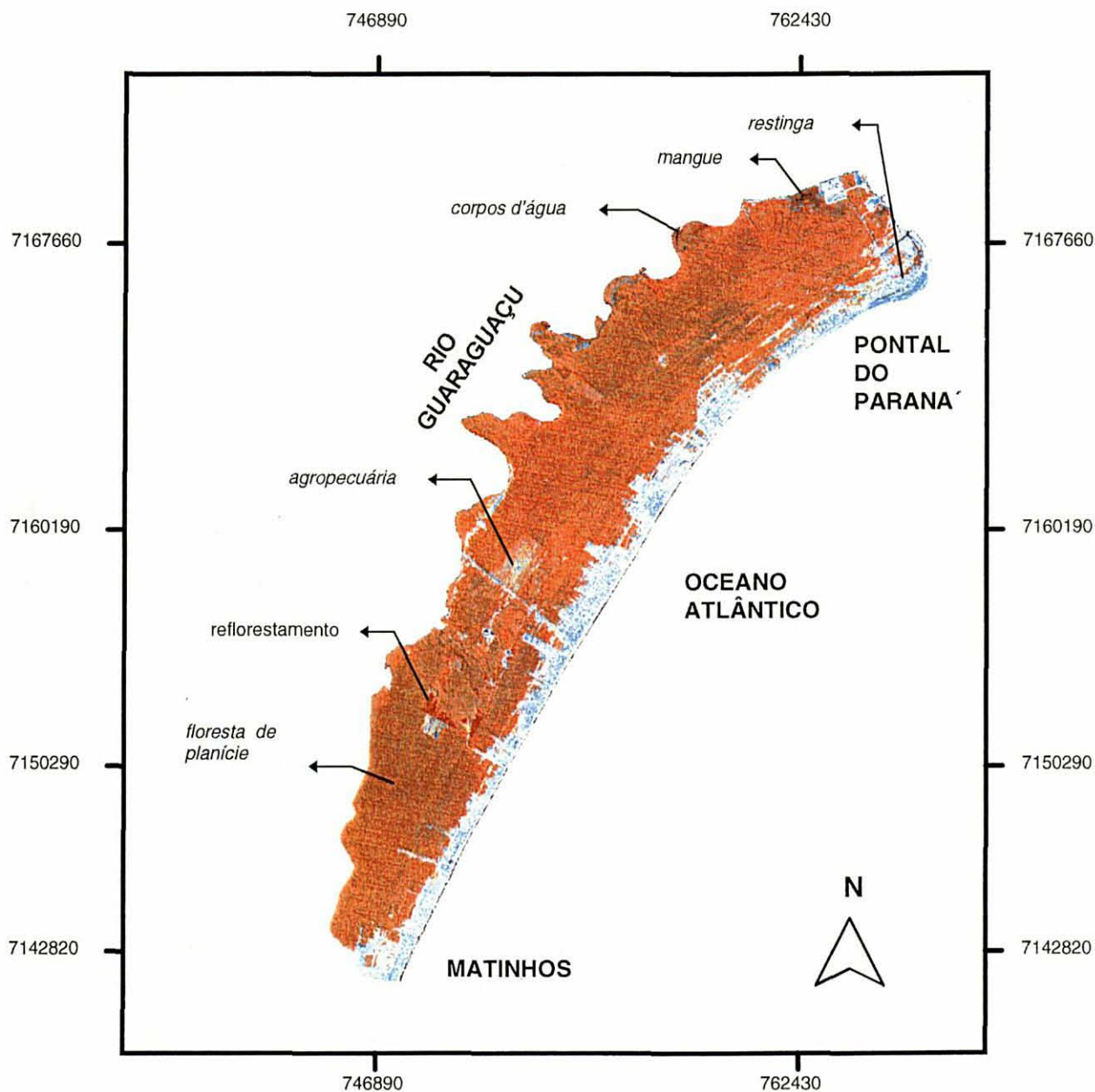
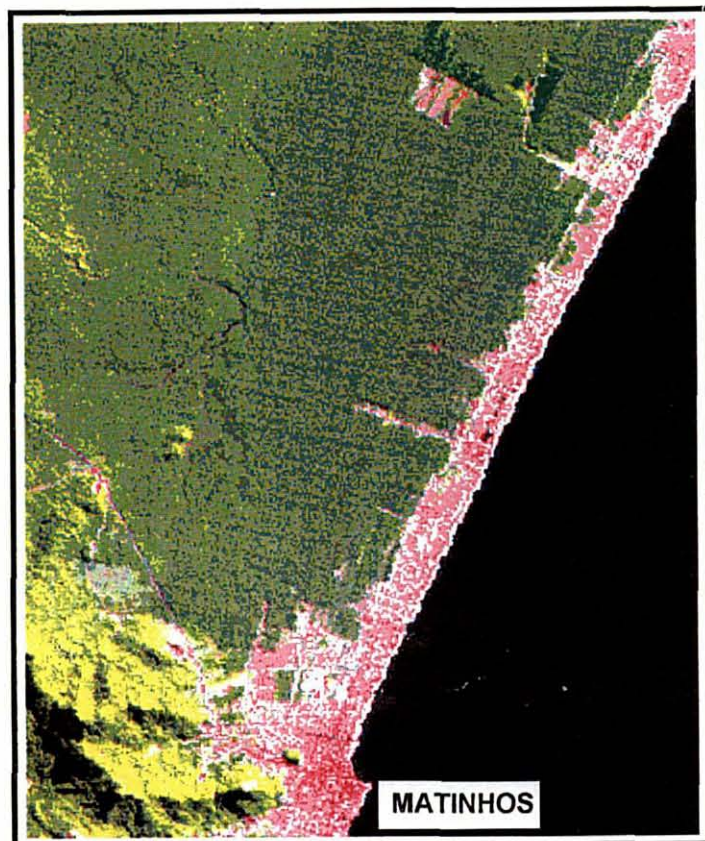


FIGURA 20- VISTA PARCIAL DA ÁREA DE ESTUDO. COMPOSIÇÃO COLORIDA FORMADA PELAS BANDAS REALÇADAS POR AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE (5% DE SATURAÇÃO). R5,G4,B3, 14/09/86.



FIGURA 21- VISTA PARCIAL DA ÁREA DE ESTUDO. COMPOSIÇÃO COLORIDA FORMADA PELAS BANDAS REALÇADAS POR AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE (5% DE SATURAÇÃO). R5,G4,B3, 18/07/94.



#### 4.3.2.2 Razão de Bandas Espectrais

Aplicando-se esta técnica de realce em todo o conjunto de bandas TM1 a 5 e 7, e reescalando os seus resultados para o intervalo de 0-255, verificou-se que os seus produtos apresentaram individualmente um fraco desempenho para realçar alvos de interesse, apresentando em geral um baixo contraste.

Foi testada também uma técnica denominada razão normalizada  $(4 - 3) / (4 + 3)$ , e também várias composições coloridas utilizando-se no triplete RGB combinações de bandas TM individuais com razões de bandas, como por exemplo  $(R4/3,G5,B3)$ , conforme sugestão de WATRIN (1994). Os resultados

não foram satisfatórios para a caracterização das feições de interesse principalmente porque não foi possível a discriminação das classes de vegetação FLO (floresta de terras baixas) e REFLO (reflorestamento). O baixo desempenho desta técnica está relacionado as características das imagens, como também, pelas limitações no algoritmo utilizado, onde há grande dificuldade de definir conjuntamente valores de ganho *offset* que maximizem o realce das diferentes feições espectrais.

#### 4.4 AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DAS ASSINATURAS ESPECTRAIS

Levando-se em consideração os objetivos deste estudo associado com a classificação da vegetação proposta pela FUNDAÇÃO IBGE (1992), o arquivo de assinaturas espectrais nas imagens contou com as seguintes categorias:

a) **Corpos d'água:** rios e mar;

b) **Urbano:** solo exposto e região urbana;

NOTA: devido a grande presença de regiões com solo exposto dentro da região urbana, a resposta espectral destas duas classes foram praticamente a mesma, apresentando os valores de DN muito próximos. Por isso, a assinatura espectral nesta categoria englobou estas duas classes de uso da terra, não trazendo maiores problemas para este estudo, uma vez que o objetivo principal deste trabalho visa a dinâmica da vegetação.

c) **Agrop:** agropecuária;

d) **Mangue:** Formação Pioneira de Influência Fluviomarinha (manguezal);

e) **Restinga:** Formação Pioneira de Influência Fluviomarinha (restingas e várzeas);

f) **Flo:** Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (floresta de planície);

g) **Reflo:** Reflorestamento.

NOTA: a assinatura para a categoria REFLO foi somente considerada para a data de 1994, uma vez que em 1986 o número de pixels para as amostras de treinamento não foi suficiente, significando que o plantio desta classe de vegetação foi realizado muito próximo a esta data. Nesta data, devido as suas características de reflectância, esta região foi interpretada como agropecuária.

Analisando-se primeiramente as tabelas 4 e 5 e o Anexo 3, pode-se concluir que com relação ao número mínimo de pixels utilizados nas amostras, estes foram suficientes, uma vez que foram superiores a 100, conforme sugestão de CRÓSTA, 1992. Com relação ao desvio padrão, estes se apresentaram relativamente baixos, significando uma grande homogeneidade das amostras dentro das respectivas classes. Somente para a classe "URBANO" os valores do desvio padrão se apresentaram relativamente altos. Isto é explicado em função de que no interior desta classe podem ser encontrados diversos tipos de diferentes materiais ou sub-classes como solo exposto (areia), vários tipos de construções, etc., ocasionando uma grande amplitude nos valores de reflectância.

TABELA 4- PARÂMETROS ESPECTRAIS E ESTATÍSTICA PARA A CLASSE MANGUE EM 1986

ASSINATURA nº de pixel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	* DP.
MANGUE 305, 1986				
BANDA 1	73	82	77,86	1,5185
BANDA 2	29	37	31,90	0,8771
BANDA 3	26	38	29,44	1,4680
BANDA 4	35	97	44,34	5,0461
BANDA 5	17	32	27,18	3,2113
BANDA 7	1	8	5,94	1,3127

\* desvio padrão

TABELA 5- PARÂMETROS ESPECTRAIS E ESTATÍSTICA PARA A  
CLASSE MANGUE EM 1994

ASSINATURA n° de píxel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
MANGUE 203, 1994				
BANDA 1	38	45	41,91	1,4079
BANDA 2	14	19	16,61	1,0110
BANDA 3	12	18	14,33	0,9025
BANDA 4	27	35	31,62	2,3736
BANDA 5	9	17	15,22	1,8273
BANDA 7	0	5	2,26	1,2530

\* desvio padrão

Os gráficos de assinaturas (Figura 22) demonstram que de um modo geral as bandas espectrais estão conseguindo discriminar bem as diversas categorias de acordo com seus valores de reflectância. Na data de 1986, apesar de as bandas 1 e 2 estarem discriminando melhor a categoria CORPOS D'ÁGUA das demais, as outras bandas, como por exemplo a 3, 4 e 5, estão discriminando muito bem as demais categorias consideradas. Já para a data de 1994, a banda 5 está conseguindo discriminar todas as categorias, e a banda 2 juntamente com a banda 3 estão discriminando as classes CORPOS D'ÁGUA, URBANO e RESTINGA das demais.

Analisando-se o espaço de atributos para as duas datas em que são plotadas as elipses representando todas as assinaturas espectrais consideradas (Figuras 23 e 24), pode-se concluir que para a data de 1986 havendo pouca sobreposição entre as classes, as bandas 3 e 5 conseguiram discriminar bem as classes consideradas. Apesar de ter havido uma pequena sobreposição entre as classes RESTINGA com URBANO e MANGUE com CORPOS D'ÁGUA, isto não acarretará grandes problemas na classificação uma vez que as médias para estas duas classes estão relativamente distantes. Já para a data de 1994, está ocorrendo o mesmo fato para as classes RESTINGA e URBANO. Apesar da pequena sobreposição entre as classes

REFLORESTAMENTO e MANGUE, a banda 3 está conseguindo discriminar bem estas duas classes. Por outro lado, as classes MANGUE e FLO (FLORESTAS) estão sendo bem discriminadas pela banda 5.

FIGURA 22- GRÁFICO DE ASSINATURAS ESPECTRAIS: a) 1986 e b) 1994

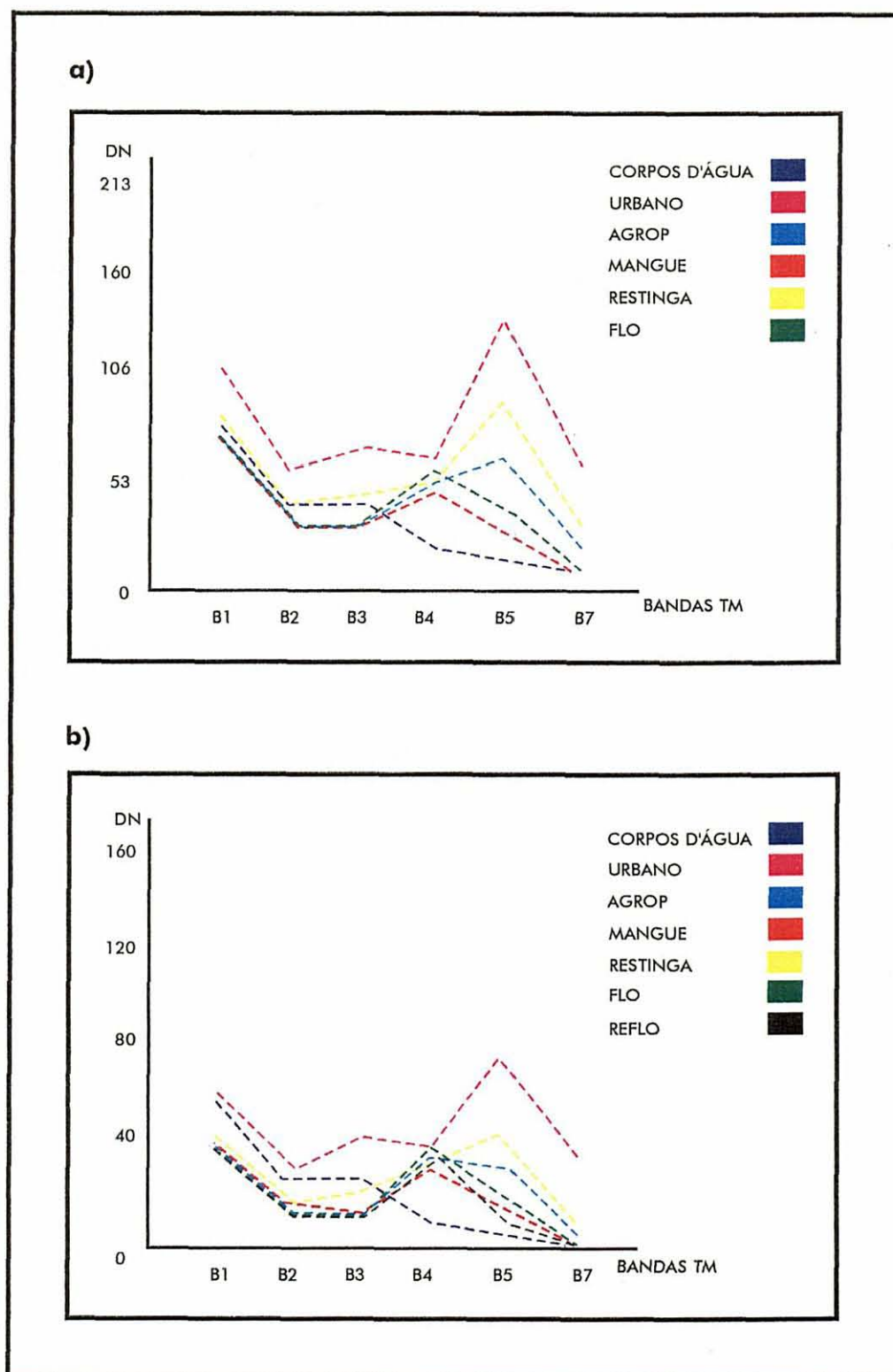
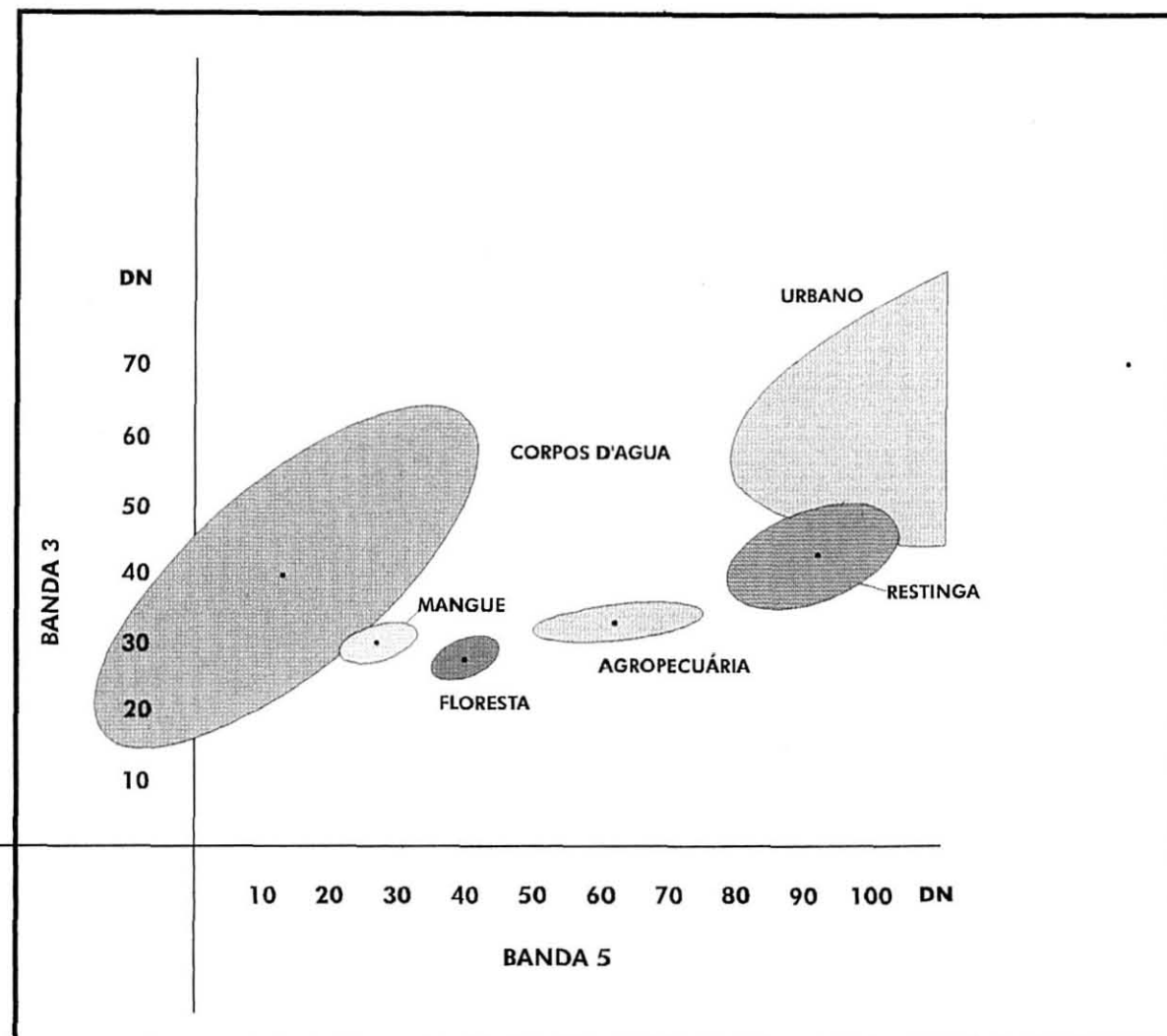


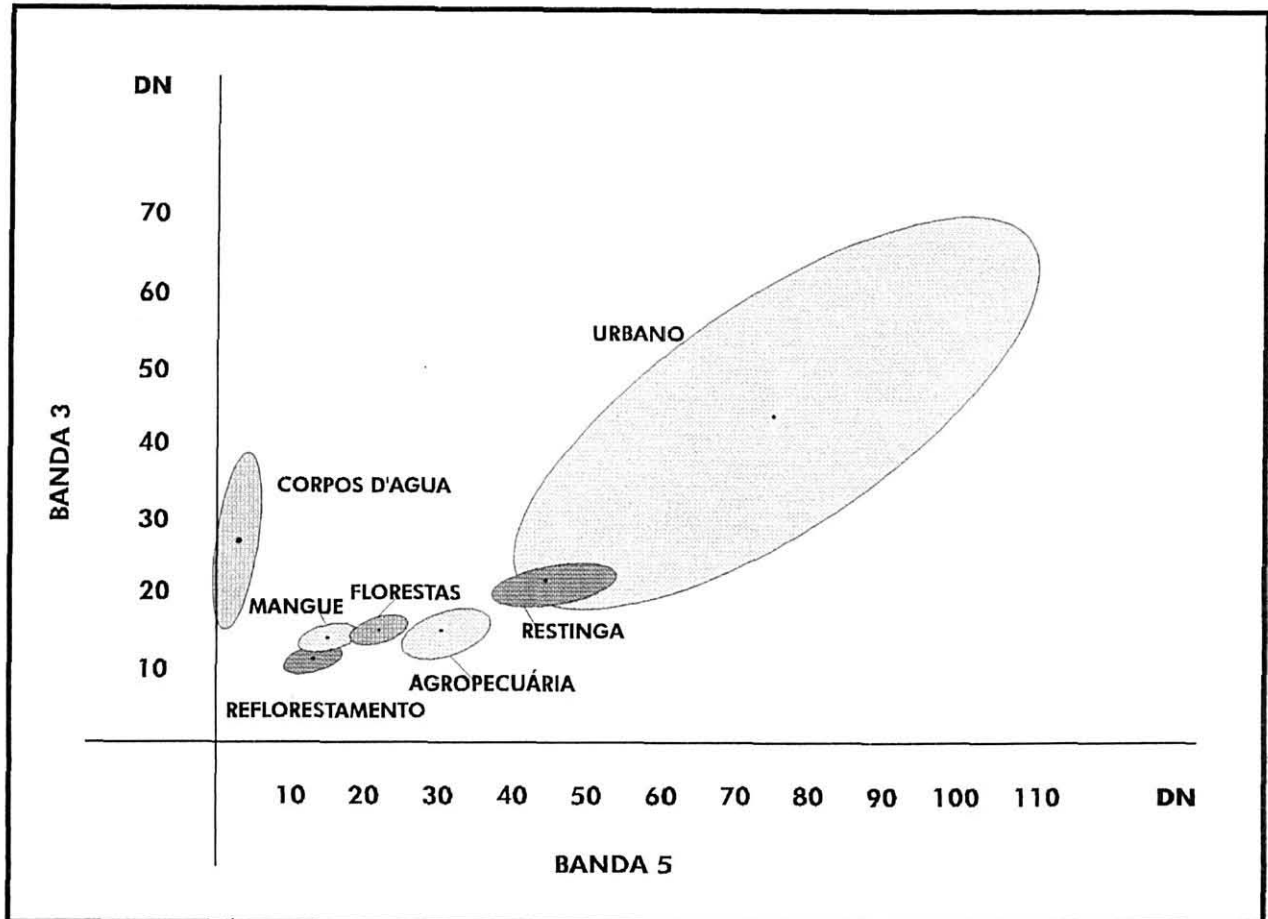
FIGURA 23- ESPAÇO DE ATRIBUTOS (ELIPSES) REFERENTES ÀS ASSINATURAS ESPECTRAIS PARA A DATA DE 1986.



NOTA: os valores negativos para a classe CORPOS D' ÁGUA só existem a nível de gráfico, uma vez que os desvios a esquerda são obtidos multiplicando-se o valor digital médio por duas vezes o desvio padrão.

Com base nestas 3 observações ( parâmetros estatísticos, gráfico de assinaturas espectrais e espaço de atributos), pode-se concluir que as assinaturas espectrais estão representando bem as suas devidas classes, e estão sendo bem discriminadas pelas bandas espectrais consideradas.

FIGURA 24- ESPAÇO DE ATRIBUTOS (ELIPSES) REFERENTES AS ASSINATURAS ESPECTRAIS PARA A DATA DE 1994.



#### 4.5 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

O resultado final do processo de classificação foi uma imagem temática, onde foi criado um arquivo de atributos composto das seguintes informações referentes as classes: nome, número identificador, número de pixels e consequentemente a área para cada classe. Estas informações foram utilizadas posteriormente nas duas datas estudadas para se avaliar a dinâmica das classes.

A coleta de amostras de teinamento para as classes de cobertura vegetal e uso da terra nas imagens de 1986 foi baseada na resposta espectral exibida por estas classes na imagem de 1994. Este procedimento foi perfeitamente aceitável, uma vez que a área apresenta uma grande

homogeneidade na distribuição das classes ao longo da área de estudo, e neste intervalo de tempo só ter surgido a classe "REFLO".

Analisando-se os resultados finais de classificação supervisionada alcançados, conclui-se que, de maneira geral as áreas de treinamento para o algoritmo *Maxlike* apresentaram-se bem adequadas, uma vez que houve uma correspondência destas áreas às informações coletadas no campo.

A seguir são apresentados os resultados da classificação supervisionada para as duas datas de forma ilustrativa, através das figuras 25 e 26.

FIGURA 25- MAPA TEMÁTICO GERADO PELA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA PARA O ANO DE 1986

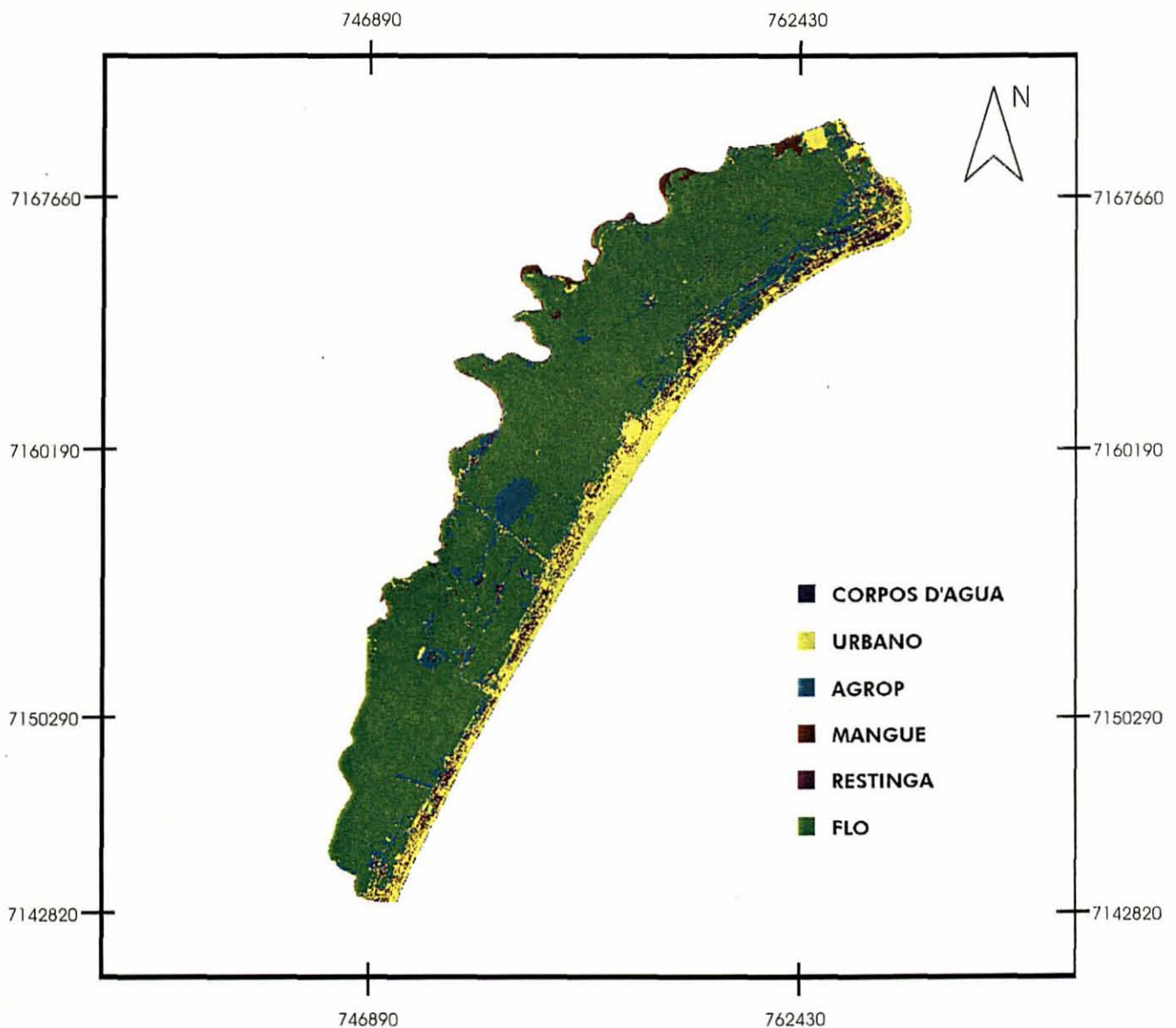
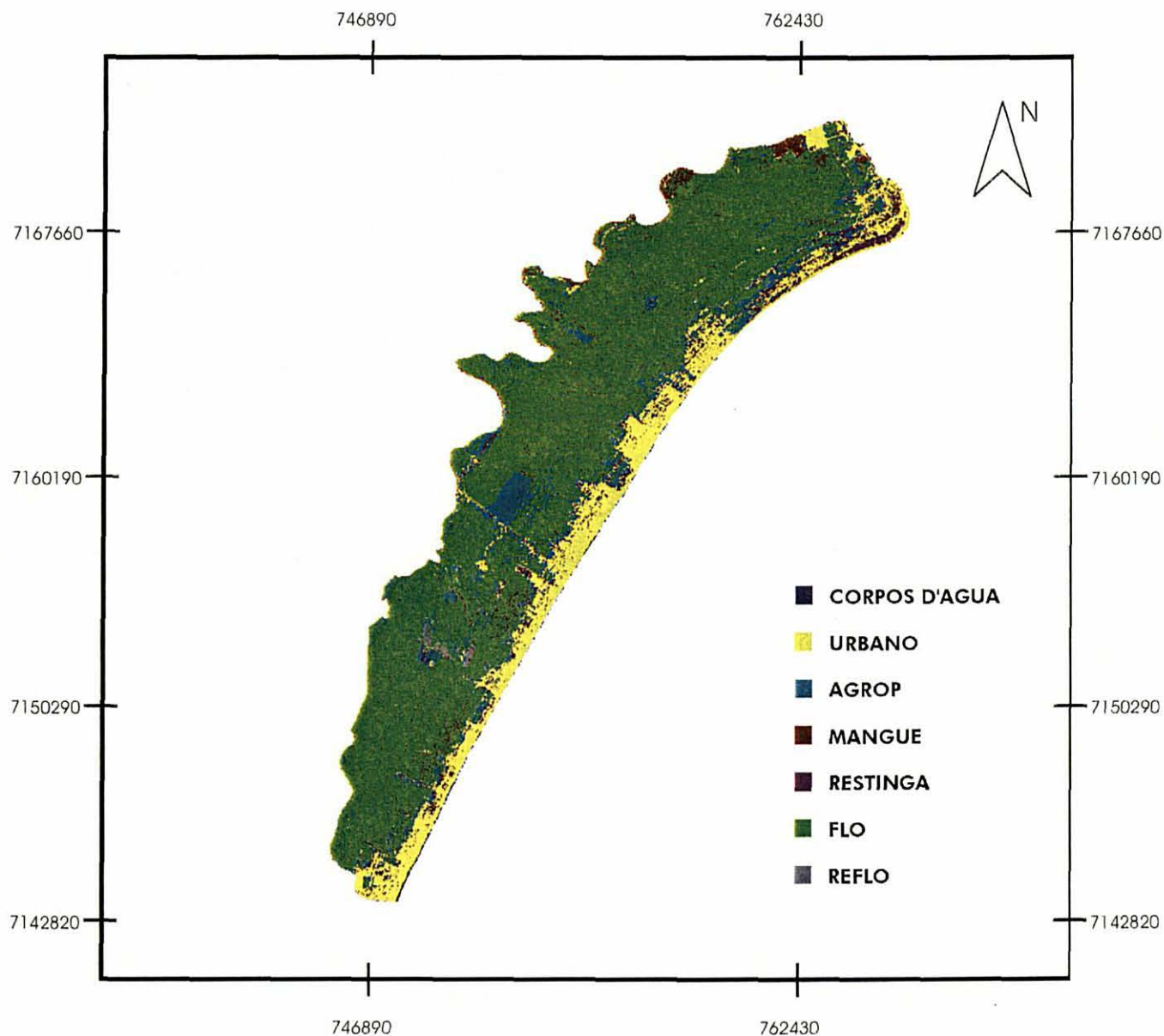


FIGURA 26- MAPA TEMÁTICO GERADO PELA CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA PARA O ANO DE 1994



#### 4.6 ACURÁCIA DA CLASSIFICAÇÃO

Considerando-se que os mapas finais foram classificadas segundo inferências estatísticas, a avaliação da acurácia destes tornou-se indispensável para a obtenção de uma confiabilidade temática. A discussão sobre a análise da confiabilidade temática de uma imagem requer que inicialmente sejam definidos os termos acurácia, precisão e exatidão, os quais geralmente são

usados de forma confusa. Segundo GEMAEL (1994), o termo precisão está associado aos erros aleatórios ou acidentais, enquanto que acurácia está relacionada aos efeitos dos erros aleatórios e sistemáticos conjuntamente. Uma observação pode ser considerada como exata se não tiver ocorrido o erro sistemático ou *bias*. A falta de exatidão das observações é geralmente oriunda dos erros sistemáticos e tende a se acumular num mesmo sentido.

A acurácia pode ser calculada com base em diversos métodos, sendo que cada um deles faz a análise de uma perspectiva metodológica diferente (LINGNAU e ANTUNES, 1996). Um dos procedimentos mais comuns de se verificar a acurácia de mapas classificados é a amostragem de pontos de referência, pois possuindo coordenadas e categorias conhecidas coletadas em campo, podem ser comparados aos mesmos pontos classificados na imagem.

Para HORD e BROONER (1976), sem a verificação de campo a acurácia de uma imagem classificada não pode ser avaliada, conseqüentemente um procedimento de amostragem se torna fundamental e indispensável. Com relação ao número mínimo de pontos de controle, para CONGALTON (1991)<sup>4</sup>, citado por ANTUNES (1996), o tamanho da amostragem varia de acordo com a área e o número de classes envolvidas, recomendando-se que o número mínimo de pontos amostrados deva ser de aproximadamente 50.

Através de levantamento de campo realizado no dia 06/02/97, foram coletados 46 pontos com auxílio de um GPS, para a determinação de suas devidas coordenadas UTM. Estes pontos foram coletados de maneira sistemática, tomando o devido cuidado para abranger todas as classes de vegetação e uso da terra estudados. De forma a tornar mais preciso o cálculo da acurácia da classificação, a estes 46 pontos, foram adicionados os 20 pontos coletados em 08/11/1996 quando foi realizado o "Reconhecimento e Caracterização da Paisagem", totalizando 66 pontos. A partir da comparação destes pontos de referência com a imagem classificada, foi gerada uma matriz de erros, TABELA 6, através da qual a acurácia da classificação pode ser calculada. Segundo ANTUNES (1996), na matriz de erros a diagonal principal contém o número de *pixels* ou pontos de referência corretamente classificados

---

<sup>4</sup>CONGALTON, R. A review of assessing the accuracy of classification remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, n. 37, p.35-36, 1991.

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

TABELA 6 - MATRIZ DE ERROS

CLASSE	PONTOS DE REFERÊNCIA							TOTAL $\Sigma X$
	corpos d'água	urbano	agrop	mangue	restinga	flo	reflo	
corpos d' água	6	0	0	0	0	0	0	6
urbano	3	6	0	0	0	0	0	9
agrop	0	1	4	0	1	0	0	6
mangue	2	3	0	7	0	0	0	12
restinga	1	1	0	0	10	0	0	12
flo	1	1	3	0	1	7	0	13
reflo	0	2	1	0	0	0	5	8
TOTAL $\Sigma X$	13	14	8	7	12	7	5	66

NOTA: pontos classificados corretamente:  $x = 45$

total de pontos amostrados:  $n = 66$

Através da matriz de erros, foram calculados dois tipos de acurácia para o mapa temático, conforme tabela 7: a acurácia do produtor e a acurácia do usuário. Segundo ROSENFELD e FITZPATRICK-LINS (1986), a acurácia do produtor é calculada através da razão entre o total de *pixels* (pontos de referência) corretamente classificados pelo número total de *pixels* de referência atribuídos a uma determinada classe, enquanto que a acurácia do usuário é calculada através da razão entre o total de *pixels* corretamente classificados pelo número total de *pixels* amostrados para essa classe. A acurácia do produtor refere-se a probabilidade de um *pixel* ou um conjunto de *pixels* de referência ter sido corretamente classificado, computando erros de omissão ou

exclusão, enquanto que a acurácia do usuário refere-se a probabilidade de um *pixel* ou um conjunto de *pixels* classificados na imagem (mapa) representar a mesma classe no terreno, computando erros de inclusão ou comissão (ROSENFELD, FITZPATRIK-LINS, LING, 1982).

TABELA 7- ACURÁCIA PARA AS CLASSES ESTUDADAS

CLASSES	ACURÁCIA DO PRODUTOR (%)	ACURÁCIA DO USUÁRIO (%)
1- CORPOS D'AGUA	46,15	100
2- URBANO	42,85	66,66
3- AGROP	50,00	66,66
4- MANGUE	100	58,33
5- RESTINGA	83,33	83,33
6- FLO	100	53,84
7- REFLO	100	62,50

Tomando-se como exemplo a classe 3- AGROP na tabela 7, pode-se verificar através da acurácia do produtor, que 50% (4/8) das áreas de agropecuária no terreno foram corretamente classificadas, enquanto que através da acurácia do usuário, 66,66% (4/6) das áreas classificadas como agropecuária no mapa foram classificadas corretamente.

Em uma avaliação destes percentuais de acurácia por classe, pode-se concluir que as classes MANGUE, FLO e REFLO foram melhor classificadas a nível de terreno, enquanto que as classes CORPOS D'ÁGUA, URBANO e AGROP, foram melhor classificadas a nível de mapa, enquanto que na classe RESTINGA, a performance das duas acurácias foi o mesmo. Estes resultados alcançados podem ser melhorados, aumentando-se o número de pontos de controle e realizando um tratamento de imagens mais aprofundado, para a produção de uma imagem classificada mais precisa.

A acurácia total do mapa é expressa pela razão entre o total de pontos corretamente classificados (45), e o total de pontos amostrados (66). ANTUNES

(1996), afirma que à estimativa da acurácia deve-se associar o intervalo de confiança a que a mesma está inserida, e este depende do tamanho da amostragem. Quanto maior a amostra, menor o intervalo, dentro de certa probabilidade de confiança.

FREUND e WALPOLE<sup>5</sup>, citados por RICHARDS (1993), apresentaram a expressão para o cálculo do intervalo de confiança para uma amostra  $n$ :

$$p \left\{ -z_{\alpha/2} < \frac{x - n\theta}{\sqrt{n\theta(1-\theta)}} < z_{\alpha/2} \right\} = 1 - \alpha$$

onde:

$x$  é o número de pontos corretamente classificados;

$n$  é o número de pontos amostrados;

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

$1 - \alpha$  é o nível de confiança.

Visto que a amostragem possui 66 pontos, considerou-se na distribuição normal uma confiança de 95 %.

então:

$n = 66$  (pontos amostrados);

$x = 45$  (pontos corretamente classificados);

$\theta = 0,68$  (probabilidade de acerto);

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

$\alpha =$  nível de confiança.

Segundo os mesmos autores, isolando-se  $\theta$  temos:

---

<sup>5</sup> FREUND, J.E.; WALPOLE, R.E. **Mathematical statistics** 4 th. ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1987.

$$x + 1,921 \pm 1,960 \sqrt{x(n-x)/(n+0,960)} / (n+3,842)$$

Substituindo-se os valores de  $n$  e  $x$  obtém-se “ $\theta$ ” para o seguinte intervalo de confiança (ic):

$$\theta_{ic} = 46,921 \pm 1,96 \sqrt{45(66-45)/66,96} / (69,842)$$

$$0,5664 > 0 < 0,7772$$

Como resultado, conclui-se que a acurácia do mapa temático está compreendida em um intervalo de confiança de [ 77,72% , 56,64% ] com 95% de confiança. A acurácia média ( $\theta_m$ ) é dada pelo valor central do intervalo, que neste caso é de 67,18%.

Segundo ANTUNES (1996), a amplitude do intervalo de confiança está diretamente relacionado ao número de amostras (pontos de controle). Esta amplitude pode ser reduzida aumentando-se o número de amostras, tornando a operação mais precisa.

#### 4.7 MANIPULAÇÃO DE DADOS E INFORMAÇÕES NO SGI/IDRISI

Através das imagens temáticas criadas pelas operações de classificação, foram criados planos de informação (PI's) no SGI/IDRISI, com o objetivo de quantificar e analisar a dinâmica de cada classe separadamente. Para isso, foi utilizado o polígono (arquivo vetorial) da área de estudo que serviu para “recortar” e separar todas as classes de ambas as datas.

Estas classes separadas a nível de resultados, cálculo de área e análise da dinâmica, são apresentados a seguir.

#### 4.7.1 QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS DAS CLASSES MAPEADAS

Na tabela 8 estão inseridos as informações referentes a quantificação de áreas das classes de cobertura vegetal e uso da terra, provenientes das imagens temáticas nas datas consideradas, e nas figuras 27 e 28 estas informações são apresentadas graficamente a nível de percentagem.

A região de estudo ilustrada na figura 9, possui uma área total de 18120,96 Ha, sendo apresentado segundo os objetivos deste trabalho, 6 classes para o ano de 1986 e 7 classes para o ano de 1994. Com relação ao comportamento destas e conforme o esperado, a classe URBANO, devido a expansão urbana, apresentou um aumento de área no intervalo de tempo considerado de 439,74 Ha, equivalente a 19,56%.

Sendo muito influenciada pelo aumento da classe URBANO, conforme observações feitas nos mapas temáticos, a classe de vegetação dominante, FLO, teve uma redução de área em torno de 1050,30 Ha, equivalente a 8,04%. Devido a distribuição se apresentar ao longo da faixa de expansão urbana, a classe RESTINGA teve uma redução de área em torno de 94,41 Ha, equivalente a 12,88%.

Outra classe que teve um aumento de área previsto devido a crescente transformação de áreas com vegetação em áreas de agricultura e pecuária, foi a classe AGROP, que teve um aumento de área de 365,58 Ha, equivalente a 21,35%. Para a classe REFLO como explicado anteriormente, a sua detecção a nível digital somente foi possível na data de 1994, uma vez que o plantio desta foi realizado por volta de 1986.

Com exceção à classe REFLO, a última classe de vegetação analisada, MANGUE, foi a única classe que teve um aumento em termos de área de 199,80 Ha, equivalente a 73,82%. Através da análise da acurácia do usuário para esta classe, conclui-se que esta classe não apresentou uma precisão satisfatória em termos de resultado, com 58,33% de precisão. Esta baixa precisão pode ser em parte explicada devido ao movimento das marés. Isto quer dizer que quando da tomada das cenas, a região de estudo no ano de 1986 estava apresentando maré baixa, e em 1994 maré alta. Outra explicação para este fato pode estar relacionado com as áreas de treinamento, uma vez que quando da delimitação destas, pode ter sido incluído algum *pixel*

pertencente a uma outra classe, influenciando diretamente os resultados da classificação. No entanto, estes resultados podem ser melhorados se forem aplicadas outras técnicas de tratamento nas imagens como por exemplo, Transformação IHS, Transformação por Principais Componentes ou Transformação por Decorrelação de Bandas Espectrais, necessitando para isso um período de tempo maior para o processamento. As mudanças observadas na classe CORPOS D'ÁGUA, 36,63 Ha, 36,20% podem ser explicadas devido ao movimento das marés.

TABELA 8- QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS DAS CLASSES MAPEADAS NOS ANOS DE 1986 E 1994

CLASSE	1986		1994	
	Ha	%	Ha	%
C. D'AGUA	101,16	0,56	64,53	0,36
URBANO	2247,66	12,41	2687,40	14,83
AGROP	1711,71	9,44	2077,29	11,46
MANGUE	270,63	1,49	470,43	2,60
RESTINGA	732,60	4,04	638,19	3,52
FLO	13057,20	72,06	12006,90	66,26
REFLO	-	-	176,22	0,97
<b>TOTAL</b>	<b>18120,96</b>	<b>100,00</b>	<b>18120,96</b>	<b>100,00</b>

FIGURA 27 DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS CLASSES EM 1986

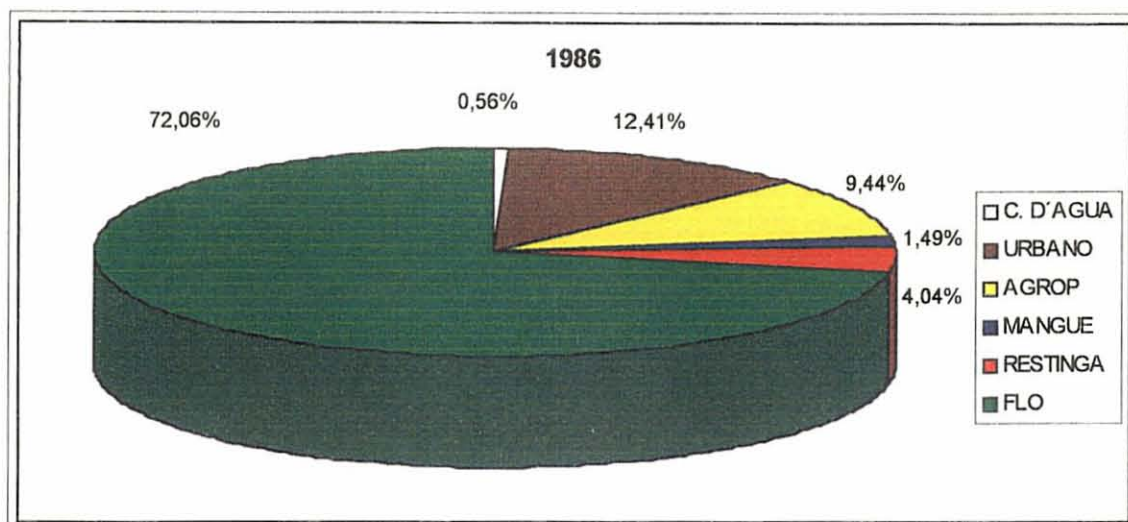
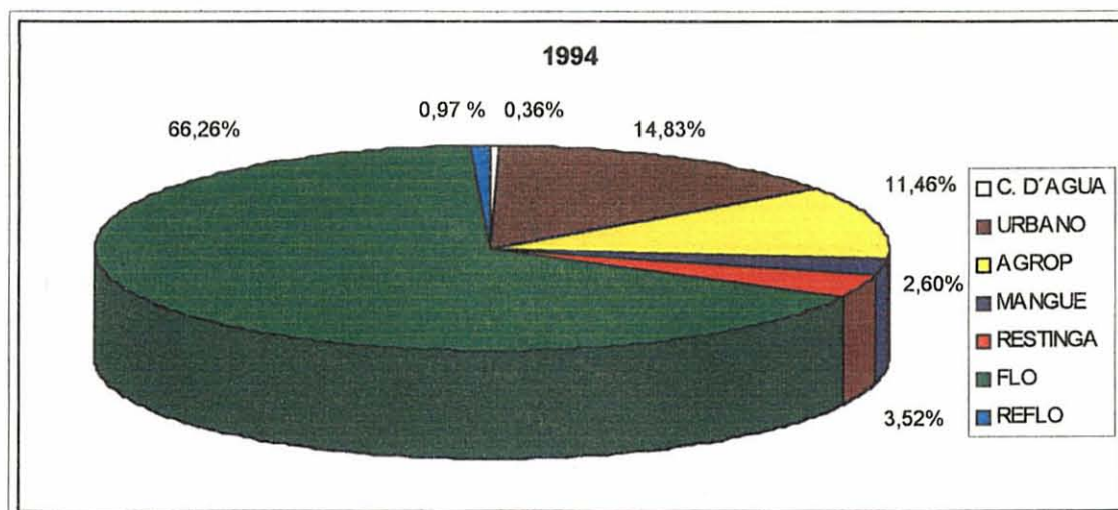


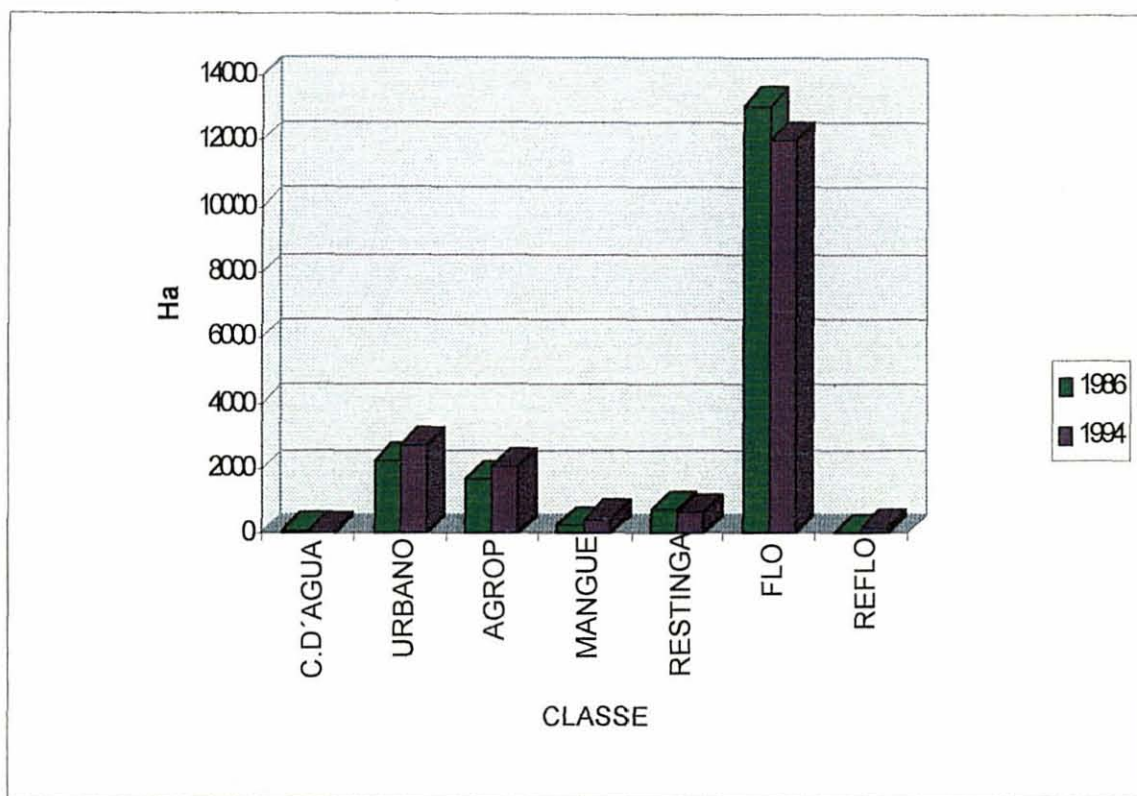
FIGURA 28 DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS CLASSES EM 1994



#### 4.7.2 ANÁLISE DA DINÂMICA DAS CLASSES MAPEADAS

Conforme figura 29 pode-se ter uma melhor visualização das flutuações individuais das classes, observadas em relação às áreas ocupadas nas duas datas consideradas.

FIGURA 29 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS CLASSES NAS DUAS DATAS CONSIDERADAS



Segundo tabela 9 em forma de matriz, pode-se ter uma compreensão das modificações ocorridas das classes estudadas nas duas datas consideradas. A diagonal principal informa o percentual de cada classe que não sofreu alteração no intervalo de tempo compreendido entre as duas datas. Os demais valores da matriz indicam o correspondente percentual em área de uma classe que foi convertida em outra durante o período de tempo analisado.

Observando-se as alterações das classes de vegetação através da diagonal principal, verifica-se que a classe FLO foi a que sofreu menos alteração durante o período analisado, com 94,32% desta classe e 22,68% da classe MANGUE permanecendo a mesma respectivamente.

TABELA 9- MUDANÇAS PERCENTUAIS OBSERVADAS PARA AS  
CLASSES NAS DATAS CONSIDERADAS

CLASSES EM 1986 CLASSES EM 1994	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1) C. D'AGUA	39,88	50,48	0,28	8,37	0,15	0,84
(2) URBANO	1,72	<b>61,53</b>	9,84	1,13	17,12	8,66
(3) AGROP	0,24	9,81	<b>37,74</b>	0,35	2,94	48,92
(4) MANGUE	1,73	4,52	5,99	<b>22,68</b>	0,37	64,71
(5) RESTINGA	0,15	38,22	22,15	0,09	<b>30,66</b>	8,73
(6) FLO	0,13	0,73	3,81	0,93	0,08	<b>94,32</b>
(7) REFLO	0,11	2,65	20,78	5,47	2,14	68,85

Analisando a dinâmica da classe de vegetação predominante na área de estudo, Floresta Ombrífila Densa das Terras Baixas (FLO), e em virtude desta classe ter apresentado um incremento negativo em termos de área total no período analisado como consequência principal da expansão urbana, fato comprovado pelo aumento significativo da classe URBANO neste período, faz-se necessário a criação de mecanismos de controle pelos órgãos competentes, objetivando o monitoramento da vegetação nesta região, para que no futuro não sejam observados resultados mais drásticos e preocupantes a nível ambiental.

## 5 CONCLUSÕES

Face ao cumprimento dos objetivos propostos, os resultados alcançados pela metodologia desenvolvida se mostraram bastante favoráveis, sendo que, merecem algumas observações:

- 1) Os materiais sensoriados utilizados na metodologia desenvolvida: fotografias aéreas coloridas em escala 1:8000 e as imagens TM/LANDSAT tornaram-se perfeitamente adequados na delimitação e caracterização das feições estudadas;
- 2) Nas operações de georeferenciamento, o número de pontos de controle utilizados, 13 para o ano de 1986 e 8 para o ano de 1994, foram suficientes para um nível de precisão aceitável;
- 3) Das técnicas de realce utilizadas, a Ampliação Linear de Contraste utilizando 5% de saturação, se mostrou muito eficiente e suficiente na caracterização das feições de cobertura vegetal e uso da terra estudadas;
- 4) A técnica de Razão de Bandas testada neste trabalho, não teve o resultado esperado, apresentando um baixo desempenho para realçar as feições estudadas;
- 5) A atenuação dos efeitos atmosféricos foi aplicada nas bandas TM1 para as duas datas, TM2 e TM4 para o ano de 1986. Nas bandas do infravermelho distante, TM5 e 7, não foi realizado esta operação uma vez que as bandas localizadas nesta região do espectro eletromagnético sofreram pouca influência atmosférica.
- 6) Para a caracterização das feições estudadas, as composições coloridas apresentaram um maior poder para a discriminação destas, quando comparadas com a análise de bandas individuais. Estas foram úteis em operações de georeferenciamento, na identificação de pontos de controle.

7) Considerando as seis bandas espectrais TM1 a 5 e 7, as composições que apresentaram um alto contraste para as feições de cobertura vegetal e uso da terra foram (R3, G4, B5), (R4, G5, B7), (R4, G5, B3), (R5, G4, B3).

8) O resultado final do processo de classificação foi considerado bom para as duas datas consideradas, uma vez que foi observado uma grande correspondência entre as informações dos mapas temáticos gerados, com as informações de campo;

9) Com relação aos resultados observados quanto as alterações da cobertura vegetal, com exceção da classe Mangue justificada no texto, as demais classes apresentaram seus incrementos dentro do esperado, no intervalo de tempo considerado.

## ANEXOS

ANEXO 1- TABELA DE IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE  
CONTROLE

PONTO	CLASSES	Leste UTM E	Norte UTM N
1	RESTINGA	765040	7168024
2	RESTINGA	765272	7167715
3	RESTINGA	765290	7167631
4	RESTINGA	765270	7167560
5	URBANO	765290	7167348
6	URBANO	765294	7167313
7	URBANO	765355	7167348
8	MANGUE	766154	7169000
9	MANGUE	766216	7168970
10	MANGUE	766170	7168950
11	MANGUE	766095	7168950
12	FLO	763701	7171600
13	FLO	764122	7170520
14	REFLO	763215	7167288
15	REFLO	762460	7166902
16	FLO	758935	7165212
17	FLO	759132	7165800
18	FLO	760033	7166676
19	FLO	758200	7165769
20	CORPOSD'ÁGUA	750205	7148370
21	CORPOS D'ÁGUA	752185	7151895
22	RESTINGA	765468	7167772
23	RESTINGA	765548	7167586
24	RESTINGA	764682	7167572
25	RESTINGA	764821	7167538
26	RESTINGA	764820	7167446
27	URBANO	764900	7167260
28	URBANO	764560	7167051
29	RESTINGA	765272	7167714
30	RESTINGA	765851	7167978
31	URBANO	766023	7167576
32	RESTINGA	766233	7168280
33	MANGUE	766512	7168275
34	MANGUE	765878	7168688
35	MANGUE	766108	7169022
36	MANGUE	766139	7169175
37	MANGUE	766141	7169298
38	MANGUE	764609	7169513
39	MANGUE	765814	7169705
40	MANGUE	766035	7169577
41	REFLO	766062	7169515
42	REFLO	762839	7167547

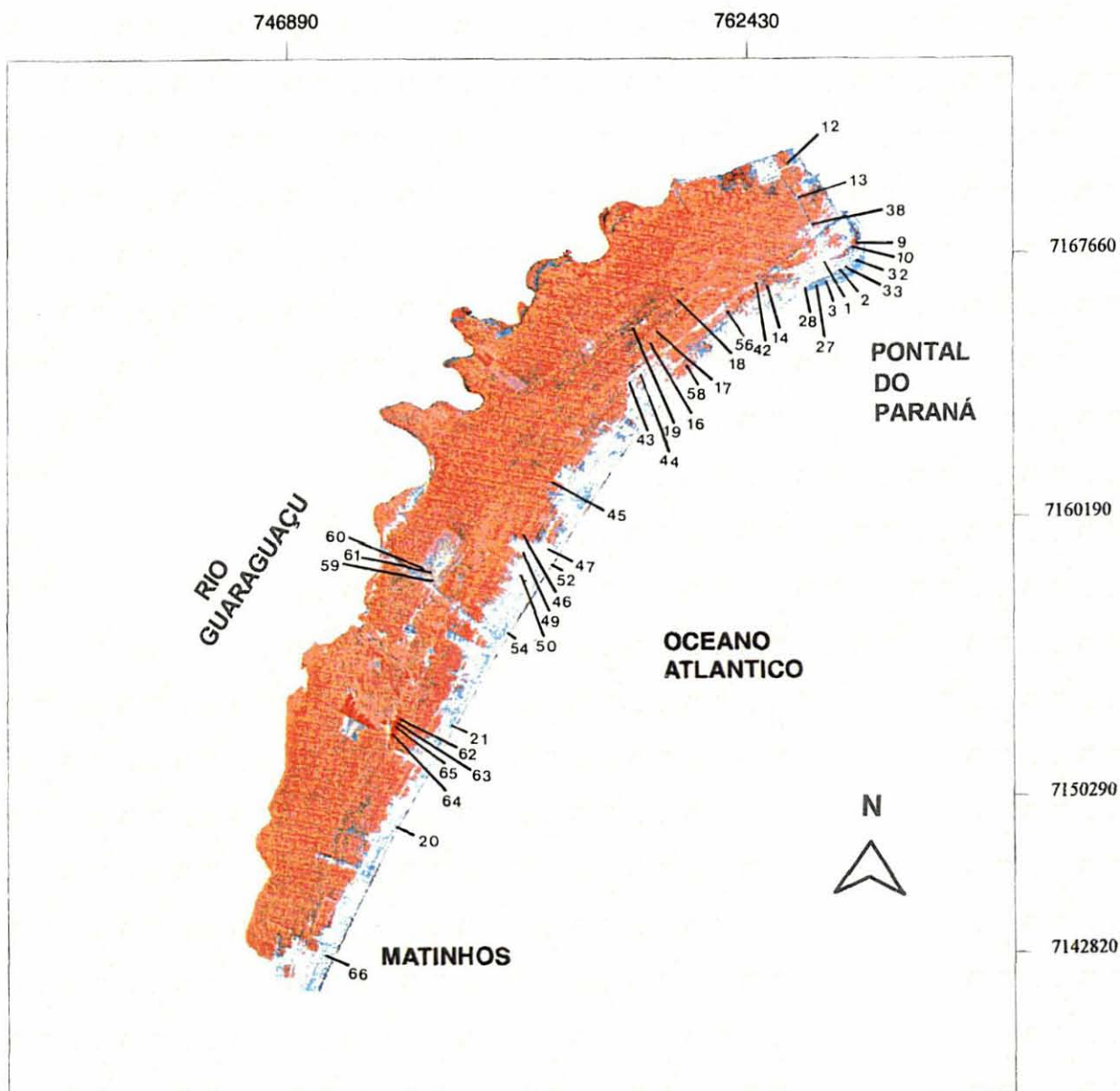
(continua)

(continuação)

43	FLO	758243	7164157
44	FLO	758616	7164335
45	FLO	755695	7160542
46	FLO	754988	7158585
47	URBANO	755592	7158081
48	URBANO	754925	7158248
49	FLO	754589	7158162
50	FLO	754479	7157013
51	FLO	754599	7157238
52	CORPOS D' AGUA	755510	7157520
53	CORPOS D' AGUA	755080	7156850
54	CORPOS D' AGUA	754150	7155310
55	CORPOS D' AGUA	754450	7155840
56	AGROP	761611	7166267
57	AGROP	762245	7166610
58	AGROP	760355	7164694
59	AGROP	751435	7157160
60	AGROP	751097	7157385
61	AGROP	750857	7157250
62	REFLO	750418	7152354
63	REFLO	750256	7152036
64	REFLO	750064	7151700
65	REFLO	750184	7151856
66	URBANO	747800	7143970

ANEXO 2 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE NA ÁREA DE ESTUDO. ESC.: 1:250000

NOTA: Em função da escala do mapa ser muito pequena, não foram demarcados todos os pontos de controle.



ANEXO 3 - ESTATÍSTICA PARA AS 6 BANDAS ESPECTRAIS DE TODAS AS ASSINATURAS NAS DUAS DATAS CONSIDERADAS.

ASSINATURA n° de pixel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
C. D'ÁGUA 84, 1986				
BANDA 1	67	112	90,27	11,8457
BANDA 2	2	32	39,80	8,5866
BANDA 3	25	68	40,80	12,5753
BANDA 4	3	42	20,61	8,8903
BANDA 5	2	96	13,26	14,5851
BANDA 7	0	29	3,67	4,7398

\*desvio padrão

ASSINATURA n° de pixel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
URBANO 726, 1986				
BANDA 1	89	140	110,26	10,7440
BANDA 2	40	79	55,90	8,5949
BANDA 3	45	106	71,29	13,9051
BANDA 4	42	92	64,44	10,3138
BANDA 5	82	213	138,86	28,9758
BANDA 7	37	125	72,61	20,4280

\*desvio padrão

ASSINATURA n° de pixel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
AGROP 366, 1986				
BANDA 1	76	83	79,17	1,4750
BANDA 2	31	38	33,23	1,0845
BANDA 3	29	40	33,10	1,7237
BANDA 4	47	58	52,27	2,5349
BANDA 5	51	82	62,21	6,0936
BANDA 7	10	33	17,07	3,1532

\*desvio padrão

ASSINATURA n° de pixel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
RESTINGA 162, 1986				
BANDA 1	84	118	88,39	3,6240
BANDA 2	35	57	39,44	2,4621
BANDA 3	38	69	43,93	3,8499
BANDA 4	41	72	52,26	5,2769
BANDA 5	66	112	92,43	6,8993
BANDA 7	21	41	33,15	4,2038

\*desvio padrão

ASSINATURA n° de pixel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
FLO 1060, 1986				
BANDA 1	72	85	78,03	2,3069
BANDA 2	28	36	31,59	1,0521
BANDA 3	24	32	28,42	1,6920
BANDA 4	47	73	56,74	4,4708
BANDA 5	33	49	40,25	2,4677
BANDA 7	5	11	7,96	1,0632

\*desvio padrão

ASSINATURA n° de pixel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
C. D'ÁGUA 135, 1994				
BANDA 1	44	72	59,76	6,6660
BANDA 2	18	38	27,37	4,2457
BANDA 3	16	39	27,41	6,0191
BANDA 4	3	16	9,16	3,3051
BANDA 5	0	8	3,76	2,3090
BANDA 7	0	3	0,48	0,7212

\*desvio padrão

ASSINATURA n° de pixel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
URBANO 426, 1994				
BANDA 1	45	102	63,41	10,9629
BANDA 2	19	63	33,14	8,2844
BANDA 3	20	86	44,82	13,0065
BANDA 4	25	59	39,00	6,1635
BANDA 5	46	160	75,53	17,7373
BANDA 7	17	87	35,83	11,7898

\*desvio padrão

ASSINATURA n° de píxel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
AGROP. 188, 1994				
BANDA 1	38	44	41,72	1,3868
BANDA 2	13	19	16,68	1,3382
BANDA 3	13	20	15,76	1,6973
BANDA 4	30	41	35,69	2,4631
BANDA 5	27	42	31,65	3,3133
BANDA 7	2	11	7,03	1,4121

\* desvio padrão

ASSINATURA n° de píxel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
RESTINGA 256, 1994				
BANDA 1	42	51	45,48	1,4712
BANDA 2	16	22	19,16	0,8223
BANDA 3	18	28	22,11	1,3561
BANDA 4	22	44	32,16	3,4218
BANDA 5	31	55	44,90	4,6993
BANDA 7	7	16	11,93	2,0202

\*desvio padrão

ASSINATURA n° de píxel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
FLO 409, 1994				
BANDA 1	37	44	40,41	1,2916
BANDA 2	13	18	14,85	1,0360
BANDA 3	10	15	13,24	0,9440
BANDA 4	28	51	38,71	4,5487
BANDA 5	18	26	21,84	1,7578
BANDA 7	0	6	3,30	1,1824

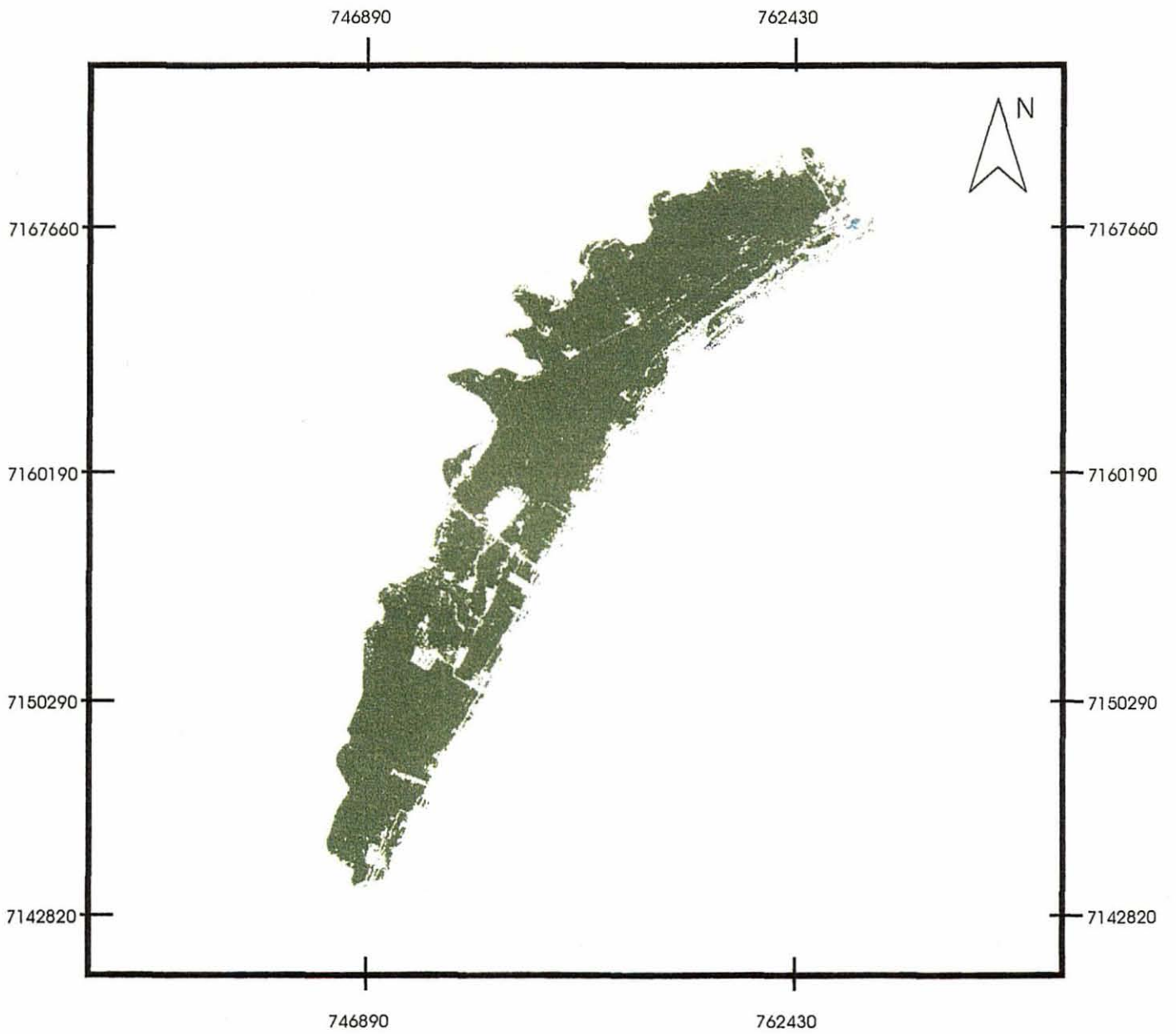
\* desvio padrão

ASSINATURA n° de píxel, ano	VALOR MÍNIMO	VALOR MÁXIMO	ESTATÍSTICA	
			MÉDIA	*DP.
REFLO 179, 1994				
BANDA 1	37	43	40,20	1,3783
BANDA 2	13	17	13,84	0,6800
BANDA 3	10	14	11,85	0,9742
BANDA 4	36	43	37,56	1,7223
BANDA 5	9	17	13,04	1,9699
BANDA 7	0	3	1,28	0,9658

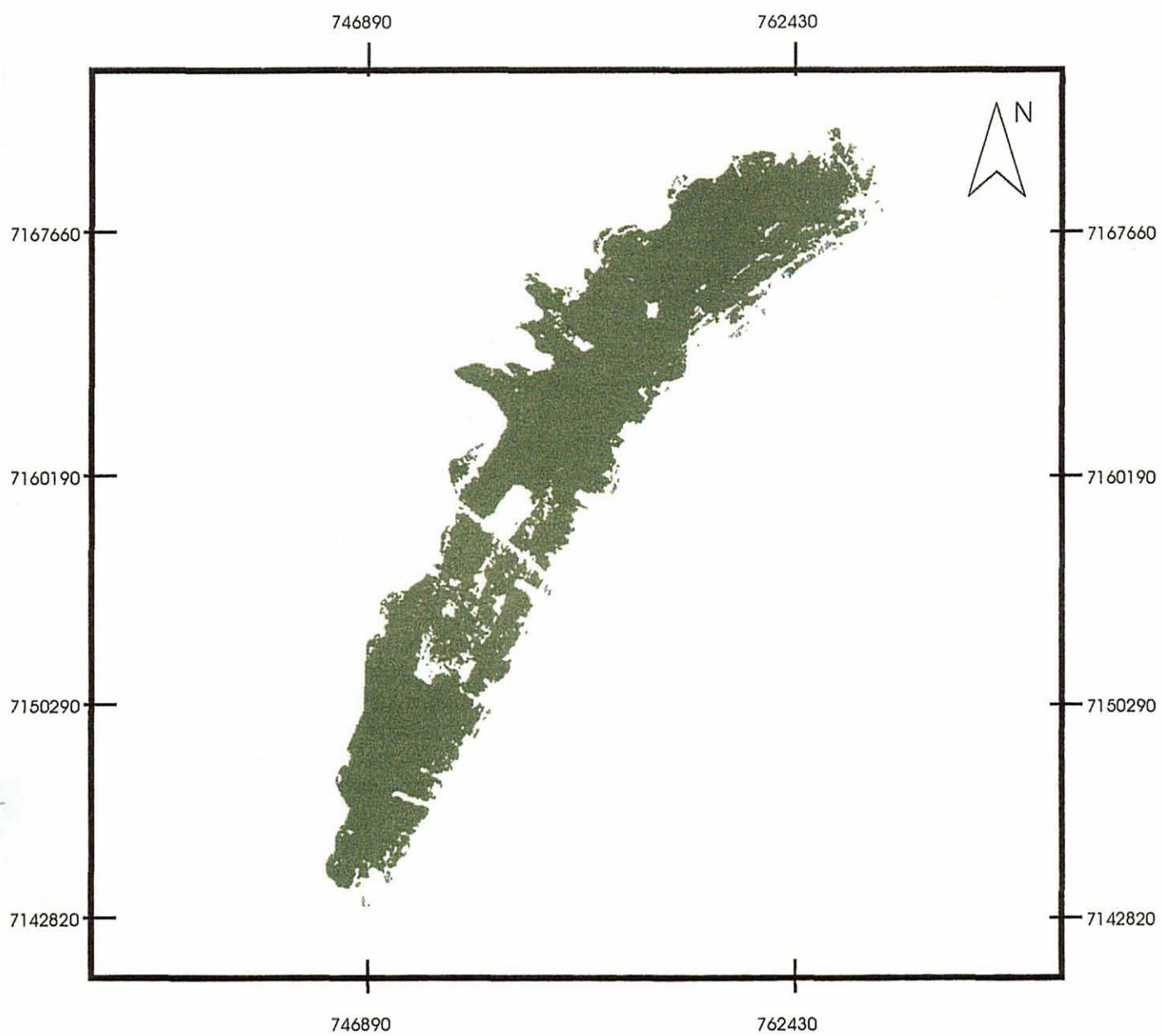
\* desvio padrão

# ANEXO 4- CLASSE (FLORESTA) TRANSFORMADA EM UM PLANO DE INFORMAÇÃO

1986



1994



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ALVES, D.S. Sistemas de informação geográfica. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO (1.: 1990: São Paulo). **Anais.** São Paulo: Escola Politécnica - USP, 1990. p.66-78.
- 2 AMARO, E. S.; MEDEIROS. J.S. Mapeamento das alterações da cobertura vegetal natural: novo procedimento metodológico utilizando-se os Sistemas SITIM/SGI. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (6.:1990: Manaus). **Anais.** São José dos Campos: INPE, 1990. v.1, p. 91-96.
- 3 ANTUNES, A. F. B. **Análise do uso do processamento digital de Imagens na segmentação de tipologias vegetais da APA de Guaraqueçaba - PR.** Curitiba, 1996, 109 f. (Dissertação. Mestrado em Conservação da Natureza) - Universidade Federal do Paraná.
- 4 ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura.** Planaltina: EMBRAPA-CDAC, 1993. 274 p.
- 5 AZEVEDO, V. R. G. *Et al.* Monitoramento da ação antrópica nos ambientes fitoecológicos no interior e no entorno da Floresta Nacional do Tapajós. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (7.: 1993:Curitiba). **Anais.** São José dos Campos: INPE, 1993. v.2, p.15-20.
- 6 BARRETTT, E.C.; CURTIS, L.F. **Introduction to enviromental remote sensing.** 3rd.ed. London: Chapman & Hall, 1992. 426 p.
- 7 BERNSTEIN, R. Image geometry and rectification. *In:* COLWELL, R.N.

**Manual of remote sensing.** 2 nd. Ed. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1983.v.1, cap. 21, p. 873-922.

- 8 BERNSTEIN, R.; FERNEYHOUGH JR., D.G. Digital image processing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v.41, n.12, p.1465-1475, Dec. 1975.
  
- 9 BYRNE, G.F.; CRAPPER, P.F.; MAYO, K.K. Monitoring land-cover change by principal component analysis of multitemporal Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, New York, n. 10, p. 175-184, 1980.
  
- 10 BRONDIZIO, E.S. *et al.* Dinâmica da vegetação do Baixo Amazonas: análise temporal do uso da terra integrando imagens Landsat-TM, levantamento florístico e etnográfico. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (7.: 1993: Curitiba). Anais.* São José dos Campos: INPE, 1993. v.2, p. 38-46.
  
- 11 CARRILHO, J.Z.; SOARES, J.V.; VALÉRIO FILHO, M. Detecção automática de mudanças como recurso auxiliar no monitoramento da cobertura do terreno. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (8.: 1996: Salvador). Anais.* São José dos Campos: INPE, 1996.
  
- 12 CHAVEZ JUNIOR, P.S. Atmospheric, solar and MTF corrections for ERTS digital imagery. *In: SYMPOSIUM OF AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (1.: Falls Church: 1975). Proceedings.* Falls Church:1975. p. 1-14.
  
- 13 CONGALTON, R.G.; GREEN, K. The ABC's of gis: an introduction to geographic information systems. **Journal of Forestry**, Bethesda, v.90, n.11, p.13-20, Nov. 1992.

- 14 CRACKNELL, A.; HAYES, I. **Introduction to remote sensing**. London: Taylor, 1993. 293 p.
- 15 CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: Unicamp, 1992. 170 p.
- 16 CURRAN, P.J. **Principles of remote sensing**. New York: Longman Scientific & Technical, 1985.
- 17 DAVISON, G.J. Ground control pointing and geometric transformation of satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.7, n.1, p.65-74, Jan. 1986.
- 18 EASTMAN, J.R. Exercícios tutoriais. **Idrisi**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994.
- 19 EDEN, M.J. The management of renewable resources in tropics: the use of remote sensing. *In*: EDEN, M.J.; PARRY, J.T.(Eds). **Remote sensing and tropical land management**. London: J. Wiley, 1986. cap. 1, p. 3-15.
- 20 FARIA, K.; KRUG, T.; SHIMABUKURO, Y. E. Aplicação de técnicas de geoprocessamento no monitoramento da cobertura florestal na área de influência da ferrovia Carajás-São Luís. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (7.: 1993: Curitiba). **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1993. v.2, p. 61-67.
- 21 FELGUEIRAS, C.A.; AMARAL, A.S.M.S. Interfaceamento de sistemas de informações geográficas com banco de dados relacional. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. (7.: 1993: Curitiba). **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1993. v.2, p. 347-350.

- 22 FRASER, R.S. Interaction mechanisms. *In*: REEVES, R.G. **Manual of remote sensing**. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1975. v.1, cap. 5, p. 181-233.
- 23 FREITAS FILHO, M.R.; MEDEIROS, J. S. Análise multitemporal da cobertura vegetal em parte da chapada do Araripe-CE, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (7.: 1993:Curitiba). **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1993. v.2, p. 73-78.
- 24 FULLER, R.M.; GROOM, G.B.; JONES, A.R. The land cover map of great britain: an automated classification of Landsat Thematic Mapper Data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v.60, n.5, p.553-562, May 1994.
- 25 FUNDAÇÃO IBGE. **Geografia do Brasil**. Rio de Janeiro, 1990.v.2.
- 26 FUNDAÇÃO IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro, 1992, n. 1.
- 27 GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações - Aplicações Geodésicas**. Curitiba: editora da UFPr, 1994.
- 28 GREEN, K.; KEMPLA, D.; LACKEY, L. Using remote sensing to detect and monitor land-cover and land-use change. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 60, n.3, p.331-337, Mar. 1994.
- 29 GREEN, K. Spatial imagery and GIS: integrated data for natural resource management. **Journal of Forestry**, Bethesda, v.90, n.11, p.32-36, Nov. 1992.

- 30 HERNANDEZ FILHO, P.; SARAIVA, I.R. Análise temporal das alterações na vegetação do Parque Estadual de Jacupiranga através de tratamento digital das imagens landsat. *In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (4.: 1986: Gramado). Anais.* Gramado: INPE, 1986. v.1, p. 785 - 790.
- 31 HORD, R. M. E BROONER, W. Land use map-accuracy criteria. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, p. 671-677, May, 1976.
- 32 HOWARD, A.J. **Remote sensing of forest resources: theory and application.** London: Chapman & Hall, 1991. 420 p.
- 33 HOWARTH, P.J.; WICKWARE, G.M. Procedures for change detection Using Landsat digital data. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.2, n.3, p.277-291, Mar. 1981.
- 34 IAPAR. **Cartas climáticas do estado do Paraná.** Londrina, 1994.
- 35 JANZA, F.J. Interaction mechanisms. *In: COLWELL, R.N. (Ed.). Manual of remote sensing.* Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1975. v.2, cap. 4, p. 75-81.
- 36 JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing.** Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1986. 379 p.
- 37 KOFFLER, N. F. Técnicas de sensoriamento remoto orbital aplicadas ao mapeamento de vegetação e uso da terra. **Geografia**, v. 17, n.2, p. 1-26, out. 1992.
- 38 LACHOWSKY, H.; MAUS, P.; PLATT, B. Integrating remote sensing with GIS. **Journal of Forestry**, Bethesda, v. 90, n.12, p.16-21, Dec. 1992.

- 39 LEITE, P.F. **As diferentes unidades fitoecológicas da Região Sul do Brasil. Proposta de classificação.** Curitiba, 1994. 160 f. Dissertação. (Mestrado em Conservação da Natureza) - Universidade Federal do Paraná.
- 40 LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation.** 3rd.ed. New York: J. Wiley. Inc. 1994, 3 ed. 750 p.
- 41 LIMA, J. D.; LIMA, S.C. Mapeamento da cobertura vegetal e do uso antrópico na região do Triângulo Mineiro (MG), através de imagens TM/Landsat. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (7.: 1993: Curitiba). Anais.* São José dos Campos: INPE, 1993. v.2, p. 162-170.
- 42 LINGNAU, C.; ANTUNES, A.F.B. Análise da confiabilidade temática de resultados obtidos por meio de classificação digital. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO - COBRAC. (2.: 1996: Florianópolis). Anais.* Florianópolis, 1996. v1, p. 248-259.
- 43 MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná.** Curitiba: José Olympio, 1981. 450 p.
- 44 MARCHETTI, D.A.B.; GARCIA, G.J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação.** São Paulo: Nobel, 1986. 257 p.
- 45 MEDEIROS, J.S. Desenvolvimento metodológico para a detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise de dados MSS Landsat. São José dos Campos, 1987. 127 f. Dissertação. (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

- 46 MYERS, V. I. Crops and soils. *In*: REEVES, R.G. **Manual of remote sensing**. Falls Church: American Society of Photogrammetry, 1975. v.2, cap. 22, p. 1715 - 1813.
- 47 NASA. **Earth resources program**. Data users handbook. Greenbelt, 1977. sec. 3, p. 3-6, 3-7, 3-8.
- 48 NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: E. Blücher, 1988. 308 p.
- 49 POMPÉIA, S.L.; FORESTI, C. O impacto da ocupação desordenada em sub-bacias urbanas: sub-bacia do rio Cabuçu - região metropolitana de São Paulo (S.P.). *In*: ENCONTRO NACIONAL DE SENSORIA - MENTO REMOTO APLICADO AO PLANEJAMENTO MUNICIPAL (1987: Campos do Jordão, S.P.). **Anais**. São Paulo: USP, 1987.
- 50 QUINTANILHA, J. A. Processamento de imagens digitais. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOPROCESSAMENTO (1.: 1990: São Paulo). **Anais**. São Paulo: Escola Politécnica - USP, 1990. p. 37-52.
- 51 RENEZ, A.N. Multitemporal analysis of Landsat imagery for monitoring forest cutovers in Nova Scotia. **Canadian Journal of Remote Sensing**, Ottawa, v.12, n.2, p. 188-194, Dec. 1985.
- 52 RIBED, P. S.; LÓPEZ, A.M. Monitoring burnt areas by principal components analysis of multi-temporal TM data. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v.16, n.9, p. 1577-1587, 1995.
- 53 RICHARDS, J. A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 2nd.ed. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 340 p.
- 54 RODERJAN, C.V.; KUNIYOSHI, Y.S. Macrozoneamento florístico da área de proteção ambiental, APA-Guaraqueçaba. **Fupef**, Curitiba, série

técnica n.15, 1988, 53 p.

- 55 ROSENFELD, G.H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 52, n.2, p. 223-227, Feb. 1986.
- 56 ROSENFELD, G.H.; FITZPATRICK-LINS, K. Sampling for thematic map accuracy testing. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v.48, n.1, p. 131-137, Jan. 1982.
- 57 SABINS JR., F. F. **Remote sensing: principles and interpretation**. San Francisco: W.H. Freeman , 1986. 426 p.
- 58 SANTOS, J. R. Abordagem integrada das imagens satelitárias para o monitoramento do desflorestamento da Amazônia Brasileira. *In: SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADAS À ENGENHARIA FLORESTAL (1.: 1994: Curitiba)*. **Anais**. Curitiba: FUPEF, 1994. v.2, p. 61- 67.
- 59 SANTOS, J.R.; PINTO, J.H.D. Análise da utilização dos produtos do Landsat no monitoramento de parques nacionais. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO ( 2.: 1982: Brasília)*. **Anais**. São José dos Campos:INPE, 1982.v.3, p. 793-798.
- 60 SCHOWENGERDT, R.A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing**. Orlando: Academic Press, 1983. 249 p.
- 61 SHEPARD, J.R. A concept of change detection. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v.30, n.7, p. 648-651, jul. 1964.

- 62 SHIMABUKURO, Y.E.; KAZMIERCZAK, M.L. Metodologia para obtenção de dados florestais a partir de dados TM-Landsat. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO ( 7.: 1993: Curitiba). Anais.* São José dos Campos: INPE, 1993. v.2, p. 120-128.
- 63 SOUZA, R.C.M.; CÂMARA NETO, G.; ALVES, D.S. O desenvolvimento de sistemas de informação geográfica e de processamento digital de imagens no INPE. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO ( 1.: 1990: São Paulo). Anais.* São Paulo: Escola Politécnica-USP, 1990. p. 168-173.
- 64 SPURR, S.H. **Photogrammetry and photo-interpretation.** New York: The Ronald Press, 1960. 472 p.
- 65 TEIXEIRA, A. *Et al.* Qual a melhor definição de GIS. **Revista Fator Gis**, Curitiba, n.11, p.20-24, out./dez. 1995.
- 66 VENTURIERI, A.; FUNAKI, R.S.; MEDEIROS, J.S. Mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra na região de Tucuruí através da classificação digital supervisionada de imagens TM Landsat. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (6.: 1990: Manaus). Anais.* São José dos Campos: INPE, 1990. v.1, p. 97- 102.
- 67 WATRIN, O. S. Estudo da dinâmica na paisagem da Amazônia Oriental através de técnicas de geoprocessamento. São José dos Campos, 1994. 175 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
- 68 WEISMILLER, R.A. *Et al.* Change detection in coastal zone environments. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v.43, n.12, p. 1533-1539, Dec. 1977.