

Dissertação de Mestrado em Engenharia da Computação

**METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO E DETECÇÃO DE
MUDANÇAS NOS REMANESCENTES DE MATA ATLÂNTICA DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO, A PARTIR DE IMAGENS DO
SATÉLITE LANDSAT 7 ETM+
ESTUDO DE CASO: PARQUE ESTADUAL DO DESENGANO**

Eduardo Ildefonso Lardosa

Orientador: Margareth Simões Penello Meirelles, DSc

Co-orientador: Ubiratan Porto dos Santos, PhD

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação

Área de Concentração Geomática – Mestrado

Março / 2005



Faculdade de Engenharia

**METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO E DETECÇÃO DE
MUDANÇAS NOS REMANESCENTES DE MATA ATLÂNTICA DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO, A PARTIR DE IMAGENS DO
SATÉLITE LANDSAT 7 ETM+
ESTUDO DE CASO: PARQUE ESTADUAL DO DESENGANO**

Eduardo Ildfonso Lardosa

Dissertação submetida ao corpo docente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Computação – Área de Concentração Geomática.

Orientador: Margareth Simões Penello Meirelles, DSc

Co-orientador: Ubiratan Porto dos Santos, PhD

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação

Área de Concentração Geomática – Mestrado

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Março de 2005

FICHA CATALOGRÁFICA

LARDOSA, EDUARDO ILDEFONSO

Metodologia para mapeamento e detecção
de mudanças nos remanescentes de Mata
Atlântica do Estado do Rio de Janeiro, a partir
de imagens do satélite LANDSAT 7 ETM+. Estudo de caso: Parque
Estadual do Desengano

[Rio de Janeiro] 2005

XII, 90 p. 29,7 cm (FEN/UERJ, M.Sc.,
Engenharia da Computação – Área de
Concentração Geomática,,2005)

Dissertação - Universidade do Estado do
Rio de Janeiro - UERJ

1. Mapeamento de Vegetação
2. Detecção de Mudanças
3. Mata Atlântica

I. FEN/UERJ II. Título (série)

FOLHA DE JULGAMENTO

Metodologia para mapeamento e detecção de mudanças nos remanescentes de Mata Atlântica do Estado do Rio de Janeiro, a partir de imagens de satélite LANDSAT 7 ETM+. Estudo de caso: Parque Estadual do Desengano

Eduardo Ildefonso Lardosa

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação
Área de Concentração Geomática – Mestrado

15 de março de 2005

Aprovada por:

Orientador: Margareth Simões Penello Meirelles, DSc., UERJ

Co-Orientador: Ubiratan Porto dos Santos, PhD. UFRJ

Alceo Magnanini, Notório Saber, IEF/RJ

Ivan de Oliveira Pires, DSc., UFF

DEDICATÓRIA

Dedico essa Dissertação a meus filhos Victor e Bruno, minha esposa Andrea, meus pais Armando e Gloria, e a meus sogros José Teixeira e Gloria, pelo incentivo e apoio dados a mim nessa importante etapa da minha vida, compreendendo minha ausência e privando-se de momentos de lazer em família, para que eu pudesse "entrar de cabeça" nessa tarefa.

E ainda, a meus amigos de trabalho do IEF/RJ, em especial aqueles do Laboratório de Geoinformação – LAGIEF, Alceo, Andrea, Ana Cristina, Aline, Lucia, Paulo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar registrado o meu agradecimento a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que eu pudesse ter sucesso nessa empreitada importante para meu enriquecimento profissional e intelectual.

Além daqueles especialmente citados na dedicatória, desejo agradecer a meus orientadores e amigos Margareth e Ubiratan(Bira) pela paciência, disponibilidade, tranquilidade e conhecimentos divididos durante a elaboração da dissertação.

Aos demais componentes da banca, Alceo Magnanini e Ivan Pires por quem tenho grande admiração e amizade, e que contribuíram com seus conhecimentos para a elaboração da minha Dissertação.

A amiga Marcia Hirota, Diretora Técnica da Fundação SOS Mata Atlântica, pela disponibilização de dados e informações sobre a distribuição espacial dos remanescentes de Mata Atlântica no Estado do RJ.

Aos amigos Paulo Schiavo e Andre Ilha, meus superiores hierárquicos no IEF/RJ durante parte do tempo em que estive desenvolvendo minha Dissertação.

E ainda, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para que eu pudesse alcançar esse título, desculpando-me por aqueles que deixei de citar nominalmente, mas que tiveram participação nesse processo.

Resumo da Dissertação apresentada a FEN/UERJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO E DETECÇÃO DE MUDANÇAS DOS
REMANESCENTES DE MATA ATLÂNTICA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO,
A PARTIR DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT 7 ETM+
ESTUDO DE CASO: PARQUE ESTADUAL DO DESENGANO

Eduardo Ildefonso Lardosa

Março/2005

Orientador: Margareth Simões Penello Meirelles

Co-Orientador: Ubiratan Porto dos Santos

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação

Área de Concentração Geomática – Mestrado

Esta Dissertação descreve uma proposta metodológica para a detecção de remanescentes da Mata Atlântica, baseada no fatiamento e segmentação da banda 3 do satélite LANDSAT7, sensor ETM+. Esta metodologia aplicada a área de estudo permitiu obter-se um percentual de acerto na separação desses remanescentes da ordem de 90%, sendo que a acurácia total ficou em 85%. Embora ainda em desenvolvimento, essa metodologia apresenta-se bastante promissora para os objetivos propostos.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, processamento de imagens, detecção de mudanças na cobertura vegetal.

Abstract of Thesis presented to FEN/UERJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

methodological proposal for MAPPING AND change detection of Atlantic Forest remnants, based on slicing and segmentation of band 3 from the LANDSAT7 satellite, ETM+ sensor. Study case: State Park of Desengano

Eduardo Ildefonso Lardosa

Março/2005

Supervisor: Margareth Simões Penello Meirelles

Co-Supervisor: Ubiratan Porto Dos Santos

Computing Engineering - Geomatic Program

This thesis describes a methodological proposal for the detection of atlantic forest remnants, based on slicing and segmentation of band 3 from the LANDSAT7 satellite, etm+ sensor. This methodology applied to the study area yielded a 90% accuracy on the extraction of these remnants, being the overall accuracy 85%. though still in development, this methodology is promising for the proposed objectives.

Keywords: remote sensing, image processing, land cover change detection

ÍNDICE

Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas	xi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos	xii
1. Introdução	1
1.1. <i>Motivação</i>	2
1.2. <i>Objetivo</i>	5
1.2.1. Objetivo Geral	5
1.2.2. Objetivos Específicos	5
1.3. <i>Estrutura da Dissertação</i>	6
2. Hipótese Proposta	9
3. Estado da Arte.....	11
4. A Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro.....	15
4.1. <i>Regiões Fitoecológicas</i>	15
4.1.1. Região Fitoecológica Estepe.....	15
4.1.2. Região Fitoecológica Floresta Ombrófila Densa.....	15
4.1.3. Região Fitoecológica Floresta Ombrófila Mista.....	15
4.1.4. Região Fitoecológica Floresta Estacional Semidecidual.....	16
4.2. <i>Abrangência</i>	16
4.3. <i>“Hotspots”</i>	18
4.4. <i>Reserva da Biosfera da Mata Atlântica</i>	19
4.5. <i>As Unidades de Conservação</i>	20
4.6. <i>O Corredor Central da Serra do Mar</i>	21
4.7. <i>O Sensoriamento Remoto nos Estudos de Vegetação</i>	22
5. O Parque Estadual do Desengano – PED	23
6. Princípios do Sensoriamento Remoto.....	25
6.1. <i>Comportamento Espectral da Vegetação</i>	25

7. Metodologia Proposta	27
7.1. <i>Descrição</i>	31
7.1.1. Escolha das Imagens	31
7.1.2. Definição de Padrões	32
7.1.3. Escala	32
7.1.4. Registro das Imagens	33
7.1.5. Mapeamento dos Remanescentes Florestais.....	35
7.1.6. Aferição do Mapeamento de Remanescentes Florestais	36
7.1.7. Detecção de Mudanças	38
7.1.8. Aferição da Detecção de Mudanças	38
8. Estudo de caso	39
8.1. <i>Área de Estudo</i>	39
8.2. <i>Geração da Base de Dados</i>	44
8.2.1. Materiais	45
8.2.2. Escolha das Imagens	45
8.2.3. Definição de Padrões	45
8.2.4. Registro das Imagens	46
8.3. <i>Mapeamento dos Remanescentes Florestais</i>	49
8.3.1. Aferição do Mapeamento dos Remanescentes Florestais.....	54
8.4. <i>Detecção de Mudanças</i>	60
8.4.1. Aferição da Detecção de Mudanças:	64
8.5. <i>Análise dos Resultados e Considerações</i>	65
9. Conclusões	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - cobertura original estimada da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro	16
Figura 2 - carta síntese da área remanescente de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro - período 1995 – 2000	17
Figura 3 – Formações Vegetais da Mata Atlântica no BRASIL	18
Figura 4 – Mapa da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no RJ	20
Figura 5 – mapa de Unidades de Conservação no Estado do Rio de Janeiro.....	21
Figura 6 – Mapa do Corredor Central (eixo) da Serra do Mar	22
Figura 7 – Mapa da Região do Parque Estadual do Desengano.....	23
Figura 8 – Comportamento Espectral da Vegetação	26
Figura 9 – fluxograma da metodologia proposta.....	28
Figura 10 - Localização do PED em relação ao Estado e ao BRASIL.....	39
Figura 11 - Localização do PED em relação aos atuais remanescentes).....	40
Figura 12 - Localização do PED em relação as duas fitofisionomias.	41
Figuras 13 – evolução dos totais de chuva dos períodos úmidos (nov a fev) de 1961 a 2000 (com falhas)	42
Figura 14 – evolução dos totais de chuva dos períodos secos (mai a ago) de 1961 a 2000 (com falhas)	42
Figura 15 – normais (1961 a 1990) – totais mensais de chuva.....	43
Figura 16 – padrão de remanescente florestal em imagens de satélite LANDSAT 7 ETM+, composição colorida 453 (a), banda 3 (b), e ortofoto (c)	46
Figura 17 - articulação das imagens LANDSAT para o RJ	47
Figura 18 – banda 4 destacando os corpos hídricos	48
Figura 19 – composição rgb 453 e 237 destacando áreas de afloramentos rochosos.....	49
Figura 20 – histograma da banda 3 de 2000 assinalando o intervalo, confirmando o escrito	50
Figura 21 – tabela com valores de ND referentes a classe remanescentes florestais	50
Figura 22 – histograma com a distribuição dos valores de ND referentes a classe remanescentes florestais	51
Figura 23 – arquivo vetorial na escala 1:10.000 sobreposto à imagem gerada no presente estudo.....	52

Figura 24 – arquivo vetorial produzido pela SOS Mata Atlântica e INPE, na escala 1:50.000, sobreposto à imagem gerada no presente estudo, também na escala 1:50.000.....	53
Figura 25 – mapa de remanescentes florestais gerado a partir da aplicação do método proposto, ref 1999.....	54
Figura 26 - mapa de remanescentes florestais gerado a partir da aplicação do método proposto, ref 2000.....	55
Figura 27 – malha de amostragem sobreposta a imagem de 1999	56
Figura 28 – malha de amostragem sobreposta a imagem de 2000	56
Figura 29 – imagem resultante da adição das imagens de remanescentes do ano de 1999 e 2000	61
Figura 30 – efeito do deslocamento entre as imagens classificadas.....	62
Figura 31 - manchas indicando falsa perda de vegetação, resultante da interferência de nuvens em 2000.....	63
Figura 32 - efeito de "salpicamento" resultante da grande quantidade de pixels isolados ou em pequenos agrupamentos.....	67
Figura 33 - imagens de 1999 e 2000 destacando-se a ocorrência de áreas de sombra na primeira.....	68

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado da acurácia total, para ambas as classes (<i>remanescentes</i> e <i>não remanescentes</i>), contemplando toda a área de estudo, referente ao ano de 1999.....	57
Tabela 2 – Resultado do Índice <i>Kappa</i> , para ambas as classes (<i>remanescentes</i> e <i>não remanescentes</i>), contemplando toda a área de estudo, para o ano de 1999.	57
Tabela 3 – Resultado da acurácia total, para ambas as classes (<i>remanescentes</i> e <i>não remanescentes</i>), contemplando toda a área de estudo, referente ao ano de 2000.....	57
Tabela 4 – Resultado do Índice <i>Kappa</i> , para ambas as classes (<i>remanescentes</i> e <i>não remanescentes</i>), contemplando toda a área de estudo, para o ano de 2000.	58
Tabela 5 – Resultado do Índice <i>Kappa</i> , por classe (<i>remanescentes e não remanescentes</i>), e o Índice <i>Kappa</i> total para ambas as classes, contemplando as três hipóteses, para toda a área de estudo, no ano de 1999.	59
Tabela 6 – Resultado do Índice <i>Kappa</i> , por classe (<i>remanescentes e não remanescentes</i>), e o Índice <i>Kappa</i> total para ambas as classes, contemplando as três hipóteses, para toda a área de estudo, no ano de 2000.	59
Tabela 7 – Resultado da acurácia total, referente à detecção de mudanças, para ambas as classes (<i>remanescentes e não remanescentes</i>), contemplando toda a área de estudo.	64
Tabela 8 – Resultado do Índice <i>Kappa</i> , referente à detecção de mudanças, para ambas as classes (<i>remanescentes e não remanescentes</i>), contemplando toda a área de estudo.	64
Tabela 9 – Resultado do Índice <i>Kappa</i> , por classe (<i>remanescentes e não remanescentes</i>), e o Índice <i>Kappa</i> total, referente à detecção de mudanças, para ambas as classes, contemplando as três hipóteses, para toda a área de estudo.	65

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ASTER – Advanced Spacebone Thermal Emission and Reflection Radiometer
CBERS – China-Brazil Earth Resources Satellite / Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
CCD – Couple Charged Device / Câmara de Alta Resolução
COA – Clube de Observadores de Aves
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
COA – Córrego Alegre
DGPS – Differential Global Positioning System
ND – Número Digital
DSG – Diretoria de Serviço Geográfico
GPS – Global Positioning System
ETM - Enhanced Thematic Mapper
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
IBGE/DGC/CCAR – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística / Diretoria de Geociências / Coordenação de Cartografia
IEF/RJ – Fundação Instituto Estadual de Florestas do Estado do Rio de Janeiro
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
LAGIEF – Laboratório de Geoinformação do IEF/RJ
PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica – Decreto Federal nº 89.817 20/06/1984
PED – Parque Estadual do Desengano
RADAM BRASIL – Radar da Amazônia
REM – Radiação Eletromagnética
RMS – Erro Médio Quadrático Residual
SEMADUR/RJ – Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SR – Sensoriamento Remoto
EOS - Earth Observing System
TM - Thematic Mapper
UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UTM – Universal Transversa de Mercator

1. Introdução

Apesar de estar protegida por diversos diplomas legais, tanto no Estado do Rio de Janeiro como nos outros estados do BRASIL, a Mata Atlântica tem sofrido contínua e, alarmante degradação. Fruto da ocupação desordenada e dos vários ciclos econômicos fundamentados na atividade agrícola, pecuária e extrativista, como por exemplo os ciclos da cana de açúcar e do café, essa degradação tem influência direta sobre os recursos naturais, seja fauna, flora, água, ar ou solos, acarretando desequilíbrios nos ecossistemas e trazendo sérios problemas para a sobrevivência do Homem.

O governo do Estado do Rio de Janeiro carece de um levantamento atualizado da cobertura vegetal natural, instrumento indispensável para nortear as políticas públicas, tendo em vista a dinâmica de ocupação do seu território.

A geração de um instrumento para o acompanhamento da dinâmica de ocupação de seu território, e das alterações da vegetação florestal nativa do Estado do Rio de Janeiro, bem como para o planejamento de ações de conservação, recuperação e uso sustentado da Mata Atlântica, por sua vez, consiste numa das atribuições da Fundação Instituto Estadual de Florestas - IEF/RJ, órgão responsável pela execução da política florestal do Estado.

Desde o surgimento do sensoriamento remoto orbital, o acompanhamento, da dinâmica de ocupação do solo, vêm ganhando importância a cada dia. O levantamento de recursos naturais, associado a sua espacialização, assim como a identificação, quantificação e qualificação das mudanças resultantes das ações antrópicas sobre esses recursos, aparecem como subsídio ao planejamento e monitoramento de espaços territoriais.

O avanço tecnológico que o sensoriamento remoto vem apresentando, através de novos sensores multiespectrais e de alta resolução espacial, tem possibilitado cada vez mais o detalhamento de informações indispensáveis a esses processos.

Assim, a presente dissertação vem propor um método otimizado para o mapeamento e monitoramento da dinâmica dos remanescentes de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro/BRASIL.

1.1. Motivação

O IEF/RJ responde pela gestão dos recursos florestais do Estado do Rio de Janeiro, como também, pela administração da grande maioria das Unidades de Conservação de Proteção Integral estaduais, distribuídas por seu território. Essas contemplam, na sua quase totalidade ambientes florestais, o que torna indispensável, por parte do IEF/RJ, o conhecimento da distribuição espacial e dimensões desses remanescentes de Mata Atlântica.

Atualmente são utilizados, dados do Atlas de Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, período 1995-2000, produzidos pela Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que vêm sendo atualizados a cada 5 anos.

Em 1997, o IEF/RJ, através do Programa de Despoluição da baía de Guanabara, implantou um Laboratório de Geoinformação – LAGIEF, para o desenvolvimento do projeto denominado *“Monitoramento por Sensoriamento Remoto dos Ecossistemas Naturais da bacia contribuinte à baía de Guanabara e sua área de influência”*. Este contemplava ainda a capacitação de técnicos da instituição, a implantação de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), e o desenvolvimento de metodologia de monitoramento dos ecossistemas naturais ali existentes.

Desde então, o LAGIEF vem desenvolvendo uma série de outras atividades e projetos, subsidiando o planejamento e desenvolvimento de ações voltadas a proteção, conservação e uso racional dos recursos naturais no estado. Dentre as mais significativas podem ser citadas a realização de estudos técnicos que resultaram, na criação de três novas Unidades de Conservação, no zoneamento e respectivo plano diretor do Parque Estadual do Desengano, e no apoio ao núcleo de monitoramento e prevenção de incêndios florestais.

O conhecimento da distribuição espacial, e das dimensões dos remanescentes florestais está relacionada, também, à questão das mudanças climáticas globais. Essas mudanças sempre ocorreram ao longo da história da Terra, em ciclos alternados de aquecimento e resfriamento, porém estudos indicam uma tendência acelerada de aquecimento global à partir do começo do século 20. Esta tendência estaria principalmente relacionada a alterações na composição dos gases atmosféricos causadas pelas emissões das atividades antrópicas recentes. Estes gases responsáveis pelo efeito estufa são compostos pelo CO₂ (dióxido de carbono), O₃ (ozônio),

CH₄ (metano) e N₂O (dióxido nitroso), juntamente com o vapor d'água (H₂O) (TANIZAKI, 2000).

Segundo Manfrinato (1999), os impactos ambientais, decorrentes do aquecimento global, afetarão cinco (05) áreas fundamentais que poderão colocar em risco a sobrevivência de vários seres vivos na Terra, inclusive o homem. Quais sejam: (i) vegetação; (ii) recursos hídricos; (iii) produção de alimentos; (iv) nível dos oceanos; e (v) saúde humana.

As mudanças resultantes do uso das terras aparecem como um dos principais fatores antrópicos relacionados ao ciclo do carbono, gerando novas emissões na atmosfera a partir de desmatamentos e queimadas, e em contrapartida incorporando carbono atmosférico durante sua regeneração da vegetação.

As florestas estocam grandes quantidades de carbono na sua biomassa viva e no solo. Uma vez removida a floresta, a maior parte deste carbono vai para a atmosfera na forma de dióxido de carbono e o carbono do solo, e ao longo dos anos, acaba por ser liberado para a atmosfera pela mineralização. Grande parte deste processo é devido à transformação das áreas de florestas em áreas de agricultura e pecuária, sendo que estas últimas, são sistemas que possuem um baixo estoque de carbono. Por outro lado, a regeneração das florestas é o único mecanismo disponível atualmente para o sequestro do carbono atmosférico (TANIZAKI, 2000).

Ainda segundo esse autor, o Estado do Rio de Janeiro possuía cerca de 1,2 Gt de carbono em suas florestas originais, que cobriam cerca de 90% de seus 43.900 km² de superfície. Atualmente, este estoque foi reduzido para valores da ordem de 0,11Gg de carbono, representando uma emissão superior a 90% dos estoques originais. Essas emissões, ocorreram basicamente devido à destruição das florestas naturais, substituídas por pastagens ou áreas agrícolas.

Outra questão relacionada aos ambientes florestais, mais especificamente a sua remoção, é a perda dos serviços ecológicos e da biodiversidade desses ecossistemas. O desaparecimento de espécies da fauna e da flora resulta do isolamento e fragmentação, ou mesmo da perda de seus habitats.

Szmuchrowski e Martins (2001), assinalam que a fragmentação dos ecossistemas naturais em habitat isolados, resulta em mudanças na estrutura da comunidade como a quebra na cadeia alimentar, perda de indivíduos reprodutivos de populações vegetais e animais, modificação e/ou eliminação de relações ecológicas com outras espécies como polinizadores, efeitos indiretos que são importantes sobre as espécies que restam nestes ambientes através de mudanças no microclima, entre outros efeitos de ordem física e biológica, conforme destaca RANKIN-DE-MERONA e ACERCY, (1987), KRUESS e TSCHARNTKE, (1994)

Segundo Tanizaki (2000), à questão da perda de biodiversidade pela fragmentação permanece controvertida, em termos de sua importância e dos mecanismos associados à sua dinâmica, mas a maioria dos especialistas concorda que ambos os aspectos (fragmentação e perda de área) devem ser considerados nos planos de conservação e manejo da biodiversidade (WHITMORE, 1998; MEYERS, 2000; TURNER e COLLET, 1996; TANIZAKI e MOULTON, 2000).

A elaboração de plano diretor do Parque Estadual do Desengano, parte integrante do projeto de implantação da referida Unidade de Conservação, propiciou a disponibilidade de uma grande diversidade de dados, constituindo-se numa excelente oportunidade para o desenvolvimento do presente estudo.

Em função da grande extensão a ser monitorada - no caso do Estado do Rio de Janeiro, cerca de 43.900km², da dificuldade de acesso a inúmeras áreas - em função do relevo acidentado, e da necessidade de se otimizar o trabalho em termos financeiros e de tempo, adotou-se para o presente trabalho o sensoriamento remoto, através da utilização de imagens do satélite LANDSAT 7 ETM+. Estas apresentam um custo razoável e uma periodicidade bastante adequada, uma vez que a cada 16 dias são geradas novas imagens do Estado. O sensoriamento remoto é bastante utilizado para mapeamentos em escala regional. Os resultados produzidos proporcionam uma visão macro da situação. Na necessidade de um maior detalhamento dessas informações, pode-se optar por processamentos complementares, através do processamento mais refinado dessas imagens, ou até mesmo pela utilização de imagens de alta resolução e fotografias aéreas.

A partir do exposto torna-se clara a importância do mapeamento desses remanescentes florestais, bem como do conhecimento de sua dinâmica, por parte dos órgãos ambientais.

Se comprovada a eficácia do método aqui proposto, no que se refere à exatidão e confiabilidade do mapeamento, associada à otimização de recursos financeiros e de tempo na atualização desses dados, tanto o processo de licenciamento ambiental, quanto a gestão de Unidades de Conservação, as ações de fiscalização, o controle e prevenção de incêndios florestais, a proposição de áreas para a implantação de corredores ecológicos, e novas Unidades de Conservação, os estudos direcionados ao seqüestro de carbono e mudanças climáticas, os estudos direcionados a questão da fragmentação florestal, e ainda as ações voltadas à conservação e manejo da biodiversidade desse ecossistema, irão dispor de um instrumento de grande utilidade.

1.2. Objetivo

1.2.1. Objetivo Geral

Propor uma metodologia para a identificação de remanescentes florestais e detecção de alterações nos mesmos, no Domínio da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro/BRASIL, a partir do estudo de caso do Parque Estadual do Desengano, baseando-se na análise multitemporal de imagens do satélite LANDSAT 7 ETM+, otimizando os recursos financeiros e o tempo de processamento para a atualização desses dados.

1.2.2. Objetivos Específicos

Avaliar a utilização da banda 3 do satélite LANDSAT 7 ETM+ para o mapeamento de remanescentes florestais de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro/BRASIL,

Avaliar um método de interpretação da banda 3 do satélite LANDSAT 7 ETM+, através da identificação de intervalo de *ND*, para a identificação e separação de remanescentes florestais de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro/BRASIL,

Avaliar técnicas de processamento de imagens para a detecção de mudanças na cobertura florestal, através da comparação de imagens multitemporais

Avaliar o grau de confiabilidade e consistência desses procedimentos, através do Índice *Kappa*.

Otimizar o processo de monitoramento da dinâmica dos remanescentes de Mata Atlântica, no Estado do Rio de Janeiro/BRASIL.

1.3. Estrutura da Dissertação

A seguir, o leitor irá encontrar a síntese dos diversos capítulos da presente dissertação, orientando-o no entendimento da problemática que envolve a preservação, conservação e uso racional da Mata Atlântica, no Estado do Rio de Janeiro/BRASIL, assim como no entendimento da metodologia proposta para o mapeamento dos remanescentes desse importante ecossistema, através do uso do sensoriamento remoto.

No capítulo 1, é apresentada de forma objetiva a questão da necessidade dos órgãos ambientais, em especial o IEF/RJ, em dispor de um mapeamento confiável e de fácil atualização, como também da pressão exercida pelas atividades humanas sobre a Mata Atlântica.

Assim, destacam-se as conseqüências da remoção desses ambientes florestais, na questão das mudanças climáticas globais, no processo de fragmentação florestal, na perda da biodiversidade e dos serviços ecológicos, e na gestão dos recursos naturais de forma geral, no estado.

Por fim, coloca-se o sensoriamento remoto como ferramenta apropriada para alcançar o objetivo principal do presente estudo.

Já no capítulo 2, é apresentada a hipótese proposta para o presente estudo.

Neste, é destacada a importância da utilização de bases cartográficas e temáticas atualizadas, para a caracterização e o diagnóstico precisos de uma determinada área ou região.

Por fim, são apresentadas as potencialidades do satélite LANDSAT 7 ETM+, destacando-se as suas resoluções radiométrica, espacial e temporal, bem como a sua larga aplicação em estudos regionais direcionados aos recursos naturais.

No capítulo 3, descreve-se o estado da arte baseado na pesquisa bibliográfica realizada, referente ao tema proposto, no caso o mapeamento e detecção de mudanças na vegetação através do uso do sensoriamento remoto orbital.

O capítulo 4 apresenta uma caracterização geral da Mata Atlântica no BRASIL, e em maior detalhe no Estado do Rio de Janeiro.

Nele, destacam-se a sua classificação fitogeográfica, a proteção legal, as coberturas original e atual, as Unidades de Conservação existentes, o enquadramento como *hotspot* mundial, e o reconhecimento como patrimônio da humanidade através da reserva da biosfera.

No capítulo 5 faz-se uma breve descrição das características do Parque Estadual do Desengano e região.

No capítulo 6, faz-se uma breve explanação sobre os princípios do sensoriamento remoto e sobre o comportamento espectral da vegetação.

São apresentadas algumas considerações acerca do comportamento da radiação eletromagnética na faixa do visível, mais especificamente do vermelho, e também acerca do comportamento dos pigmentos, em especial da clorofila, em relação à idade fisiológica dos vegetais.

No capítulo 7, encontra-se a descrição da metodologia proposta, percorrendo todas as suas etapas. Intercalam-se algumas citações bibliográficas, consideradas relevantes para o embasamento técnico do método proposto.

Inicialmente é apresentado um fluxograma de todas as etapas metodológicas, sendo, em seguida, descritas individualmente as etapas referentes à pesquisa bibliográfica, escolha das imagens, definição de padrões da vegetação na imagem e nas fotografias aéreas, a escala de trabalho, o registro das imagens, o processo de identificação e de extração dos remanescentes, a aferição preliminar da etapa de mapeamento desses remanescentes florestais, o processo de detecção das alterações ocorridas de um ano para outro, e por fim a aferição final referente ao mapeamento das áreas que sofreram algum tipo de alteração.

No capítulo 8, é descrito o estudo de caso, percorrendo todas as etapas mencionadas no capítulo anterior.

Para um melhor entendimento do método proposto, resolveu-se agrupar as etapas em procedimentos distintos.

O primeiro procedimento denominado geração da base de dados, consiste da preparação da base a ser trabalhada, contemplando a escolha das imagens, definição de padrões e registro das imagens.

O segundo procedimento por sua vez, denominado mapeamento dos remanescentes florestais, consiste no mapeamento dos remanescentes dos anos de 1999 e 2000, e aferição do seu percentual de exatidão, através do cálculo do Índice *Kappa*. Essa etapa não envolveu trabalho de campo, por razões a serem posteriormente apresentadas, apesar de metodologicamente ter sido contemplado.

O terceiro procedimento, denominado detecção de mudanças, consiste no processo de detecção de alterações na vegetação, a partir da subtração das imagens classificadas dos anos de 1999 e 2000, referentes ao mapeamento dos remanescentes desses anos. Da mesma forma que no procedimento anterior, esse também contemplou a aferição do percentual de exatidão através do cálculo do Índice *Kappa*, e não envolveu trabalho de campo.

O quarto procedimento, denominado análise dos resultados e discussões, contempla obviamente a avaliação dos resultados obtidos nas diversas etapas do método proposto, discorrendo sobre as questões que, de alguma maneira, tiveram influência nesses resultados.

Finalmente, o capítulo 9 traz as conclusões a que se chegou, indicando o quanto foi obtido de sucesso, e sugerindo alternativas para o aprimoramento do método proposto.

2. Hipótese Proposta

O presente estudo sugere que, a partir da adoção de critérios e parâmetros específicos, é possível estabelecer procedimentos simplificados para o mapeamento dos remanescentes florestais de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, otimizando tanto o processo de atualização desses dados, quanto o monitoramento de sua dinâmica.

Essa consiste, na proposição e avaliação de um método de separação dos pixels que representam os remanescentes florestais de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, a partir da interpretação da banda 3 do satélite LANDSAT 7 ETM+, em períodos distintos. É um procedimento simplificado de agrupamento de pixels, estabelecendo-se um intervalo de ND, com valores entre 0 e 255 referente a esses remanescentes.

Complementarmente, efetua-se a subtração de imagens classificadas multitemporais, referente a feição *remanescentes florestais*, visando a identificação de áreas de alteração.

Por fim, realiza-se a acurácia do mapeamento, através do cálculo do Índice *Kappa* para as duas etapas, separação dos remanescentes e detecção de alterações respectivamente, estabelecendo-se o percentual de exatidão, e conseqüentemente o grau de consistência e confiabilidade desses mapeamentos.

A metodologia proposta visa otimizar o tempo de processamento das imagens, garantindo uma maior agilidade no processo de monitoramento, sem descuidar da qualidade das informações a serem produzidas.

Atualmente utilizam-se dados de sensoriamento remoto, demandando processamentos simplificados, mas que mesmo assim garantam a consistência dos dados produzidos e das análises posteriores.

O uso do sensoriamento remoto já está consolidado como ferramenta para mapeamento e estudos da dinâmica da cobertura vegetal e uso das terras, devido principalmente à qualidade das imagens obtidas pelos satélites de recursos naturais, como por exemplo, o LANDSAT 7 ETM+, que possui alta resolução temporal e baixo custo, o que tornou a sua utilização uma solução muito atrativa em termos de custo e eficiência.

Em grande parte do mundo, os satélites LANDSAT têm atendido às necessidades técnicas para a realização destes estudos, em função de suas resoluções espacial, radiométrica e temporal. A existência de sensores direcionados ao registro da reflectância nas faixas do visível e infra-vermelho, permitem uma análise bastante consistente dos recursos naturais, respeitadas obviamente suas limitações, em função das interferências provocadas pelos efeitos atmosféricos principalmente.

Os resultados produzidos proporcionam uma visão macro da situação, extremamente importante para o monitoramento e controle regional, ficando o detalhamento por conta de projetos específicos para as diversas sub-regiões, aonde é possível produzir informações numa maior escala, seja através do processamento mais refinado dessas imagens, como por exemplo à fusão das bandas de interesse com a banda 8 PAN, ou até mesmo com a utilização de imagens de alta resolução ou fotografias aéreas.

3. Estado da Arte

Segundo Carvalho et al (2001) o desenvolvimento tecnológico e as aplicações de sensoriamento remoto vêm se desenvolvendo de forma ampla e rápida, exigindo avaliações constantes do estado da arte.

A pesquisa aqui realizada, procurou identificar alguns estudos recentes na área de sensoriamento remoto, voltados para o mapeamento da vegetação florestal e detecção de mudanças em sua área de cobertura, visando subsidiar o conhecimento mais detalhado sobre o tema, assim como balizar a definição de critérios a serem adotados nesse estudo.

Morelli et al (1999), testando o uso integrado das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na avaliação da dinâmica da cobertura vegetal natural e do uso da terra, no município de Barrolândia-BA, conclui que, trata-se de uma ferramenta eficiente e imprescindível para a documentação histórica do processo de fragmentação e proposição de alternativas de preservação do patrimônio ambiental.

Feitosa et al. (2001), avaliou método híbrido para classificação de imagens multitemporais, semelhante ao método convencional de classificação não supervisionada, e que consiste essencialmente em executar através de iterações sucessivas os passos de treinamento e classificação. Resultados preliminares obtidos nos experimentos desenvolvidos são favoráveis ao método proposto.

Szmuchrowski e Martins (2001), analisando uma metodologia apoiada em geoprocessamento, para a indicação de corredores ecológicos interligando fragmentos florestais e Unidades de Conservação no município de Palmas – Tocantins, destacam que, segundo Martins et al (1998a), existe a necessidade de se ressaltar que o manejo de corredores ecológicos não consiste em uma medida suficiente para a conservação das espécies (fauna e flora), tendo necessidade de uma abordagem que alie corredor a uma rede regional de áreas protegidas. Assim como o planejamento de corredores ecológicos requer a análise e integração de vários fatores, cujo processo, aplicado a um conjunto de dados, pode ser realizado por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), georreferenciando-se as informações a serem criadas. Dentre as principais conclusões destaca-se a comprovação da eficiência do SIG como ferramenta para a proposição de corredores ecológicos interligando fragmentos florestais na

área de estudos, e a necessidade de maior integração de dados planialtimétricos a serem carregados no SIG, principalmente para a geração do modelo digital de elevação.

Cabe destacar a necessidade de contemplar tanto a ocorrência de elementos naturais como afloramentos rochosos e corpos hídricos, como também a ocorrência de elementos resultantes da ação antrópica, podendo ser citados obras de infraestrutura em geral, atividades minerárias, e vilarejos ou pequenas cidades.

IEF/RJ, (2001), destaca o elevado potencial existente na utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto para o monitoramento da cobertura vegetal sobre áreas extensas. Os principais fatores que justificam a utilização desta técnica nestes estudos referem-se à possibilidade de obtenção de uma grande diversidade de imagens multitemporais com diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais, a um baixo custo; a possibilidade de realização de mapeamentos através de análises automáticas de modo bastante rápido em relação às técnicas convencionais de fotointerpretação; a utilização de imagens na faixa do vermelho e do infravermelho, que apresentam elevado potencial para a detecção de alterações na estrutura interna e metabolismo da vegetação e quantificação da fitomassa; ao tratamento e ampliação digital das imagens visando realçar feições de interesse, tornando as análises visuais mais precisas.

Sistemas de informações geográficas são particularmente úteis nestes estudos, pois possibilitam a realização de consultas e análises integradas através de cruzamentos, quantificação de áreas em diferentes unidades espaciais e delimitação de áreas de modo automatizado e rápido.

Pacheco (2001), estudou a aplicação espacial, espectral e temporal do sensoriamento remoto para estudos da cobertura vegetal de Mata Atlântica/plano piloto (mata do zumbi - reserva nacional de Mata Atlântica - Pernambuco/ BRASIL), visando a análise e a implementação de uma metodologia para o monitoramento de reservas remanescentes da Mata Atlântica no Estado de Pernambuco. Os resultados obtidos mostraram que a metodologia empregada neste trabalho, do ponto de vista da análise e aplicação, é muito eficaz no monitoramento espacial e espectral de coberturas vegetais. Acredita-se, porém, que com a realização de uma atividade de campo mais qualificada, principalmente em classes superpostas, é possível conseguir-se resultados mais expressivos e conseqüentemente obter-se informações espectrais, espaciais e temporais mais representativas da cobertura vegetal.

Silva (2003), avaliando a correção atmosférica e retificação radiométrica em estudos multitemporais, recomenda a técnica de normalização radiométrica para ajustar radiometricamente uma série temporal de imagens. Os resultados demonstraram que é necessário corrigir atmosféricamente apenas uma imagem da série temporal, pois a normalização garante o ajuste radiométrico entre as imagens.

Maldonado & Carvalho (2003), avaliando indicador experimental de degradação para a detecção de mudanças na cobertura das terras com sensoriamento remoto, concluíram que esse método minimiza a relação custo benefício dos processamentos digitais, diminuindo o tempo computacional, sendo esse um eficiente indicador para as diferentes condições climáticas da região do semi-árido.

Oliveira et al. (2003), abordando o uso de imagens diferença para a detecção de mudanças em área de floresta ombrófila mista, chama a atenção para o tema e as possibilidades de criação de novas opções para o monitoramento da vegetação no bioma estudado. Conclui que a subtração de bandas simples, nesse caso específico à banda 5 do satélite LANDSAT 5 TM, é facilmente implementada, mais direta em termos de análise e apresenta porcentagem alta de concordância geral com os demais métodos avaliados.

Lorena (2003), analisando algumas técnicas de processamento digital de imagens, objetivando a contribuição aos estudos da dinâmica da cobertura vegetal e uso do solo, testou a técnica de análise por mudança de vetor, comparando-a com a classificação por regiões de Bhattacharya. A técnica avaliada demonstrou habilidade na detecção e estratificação de diferentes tipos de mudanças em termos de ganho e perda de biomassa.

Konrath et al (2003), avaliando a utilização de imagens de satélite , geoprocessamento e campo para a avaliação rápida de ecossistemas florestais, destaca que a maximização da relação entre esforço/tempo e custo de amostragens, bem como a confiabilidade dos resultados, são os principais pré-requisitos para avaliação rápida da biodiversidade. Ressalta ainda que, embora muitos trabalhos de monitoramento da cobertura vegetal sejam feitos com base nessas técnicas e no sensoriamento remoto, não se sabe até que ponto é possível distinguir florestas primárias pouco perturbadas, ou em estágio de sucessão secundária avançado, de florestas em estágio de sucessão secundária intermediário, sujeitas a um maior grau de perturbação.

Freitas e Cruz (2003), comparando o desempenho de índices de vegetação na caracterização de fragmentos de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, chamam a atenção para a utilização do sensoriamento remoto e dos sistemas de informação geográfica, que vêm se mostrando ferramentas, cada vez mais, fundamentais para os estudos ambientais. Destacam ainda que, os diversos índices de vegetação desenvolvidos para o monitoramento da cobertura vegetal, principalmente na região tropical, são utilizados em sua maioria na região amazônica, no cerrado e em florestas plantadas (p.e. *Pinnus* e *Eucaliptus*), sendo pouco usados em áreas de Mata Atlântica. Dentre as conclusões destaca-se que o índice de vegetação MVI7 foi o que mostrou melhor desempenho em discriminar diferentes tipos de floresta, ao contrário do encontrado por Souza & Ponzoni (1998) onde o MVI5 obteve melhor desempenho. Ressaltam ainda que a correção radiométrica de Chavez (1996) foi uma etapa fundamental neste estudo, possibilitando otimizar o desempenho dos índices de vegetação.

Após essa etapa, foi possível ter-se à clara noção de que, as técnicas de sensoriamento remoto por mais avançadas que possam estar, ainda demandam um esforço muito grande para que sejam alcançados resultados concretos, otimizando a produção e análise de dados originados pela mesma.

4. A Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro

A tipificação das coberturas florestais que compõem a Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro foi detalhada nas folhas SF23/24 - Rio de Janeiro/Vitória, do Projeto RADAM BRASIL, (1982). Pode-se, com base nelas, identificar os tipos florestais do estado, pertencentes a quatro regiões fitoecológicas, (RAMBALDI et al 2003) **Figura 1**, descritos a seguir:

4.1. Regiões Fitoecológicas

4.1.1. Região Fitoecológica Estepe

Corresponde a uma Caatinga, devido às condições predominantes de clima e precipitações semelhantes às do nordeste brasileiro. Esta caatinga fluminense ocorre, como uma formação aberta, apenas nos municípios de Arraial do Cabo e de Cabo Frio, sempre sobre os maciços adjacentes ao mar. De grande fragilidade e de caráter exclusivo no Estado, esse tipo de cobertura florestal está sob a intensa pressão antrópica representada pela especulação imobiliária e ocupação desordenada do solo.

4.1.2. Região Fitoecológica Floresta Ombrófila Densa

Os ambientes fluminenses onde se instala a floresta ombrófila densa possuem precipitações bem distribuídas ao longo do ano, em torno de 1.500mm, sem período seco. É predominante nos atuais remanescentes,

4.1.3. Região Fitoecológica Floresta Ombrófila Mista

Como as regiões fitoecológicas anteriores subdividem-se em quatro formações, mas, no Estado do Rio de Janeiro, só ocorre à formação floresta montana. Localiza-se entre os 800 e os 1200m no Parque Nacional da Bocaina. As espécies típicas são o pinheiro-do-paraná (*Araucária angustifolia*) - de pequenas dimensões no Estado, encontra-se encravada na serra da Bocaina, na divisa com o estado de São Paulo, contemplando uma pequena porção dos atuais remanescentes.

4.1.4. Região Fitoecológica Floresta Estacional Semidecidual

O grau de caducifoliedade do conjunto florestal a que se refere a sua denominação está entre 20 e 50% e é dependente do clima, que tem uma estação chuvosa e outra seca. Entre todas é a mais atingida, e encontra-se parcamente representada por fragmentos de pequenas dimensões, distribuídos ao longo da bacia do rio Paraíba do Sul, e nas planícies costeiras das regiões leste e nordeste do Estado do Rio de Janeiro.

Essas formações vegetais compõem a Mata Atlântica, apresentando-se como vegetação primária ou nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, assim estabelecido pelo Decreto Federal nº 750 de 10/02/93, e resoluções CONAMA nº10/93 e 06/94. O referido decreto, em seu artigo 1º, proíbe o corte, a exploração e a supressão dessa vegetação, excetuando-se aquela referente ao estágio inicial de regeneração. Da mesma forma, em 1988, essa vegetação foi declarada imune de corte, conforme o artigo 270 da Constituição do Estado do Rio de Janeiro, não podendo sofrer redução de suas áreas.

4.2. Abrangência

Estima-se, que o bioma Mata Atlântica recobria, ao tempo da chegada dos portugueses ao Brasil, cerca de 97% do território fluminense, englobando a mata propriamente dita (floresta ombrófila densa, floresta estacional semidecidual e floresta ombrófila mista) e ecossistemas associados, como manguezais, restingas e campos de altitudes (IEF/RJ, 2004).

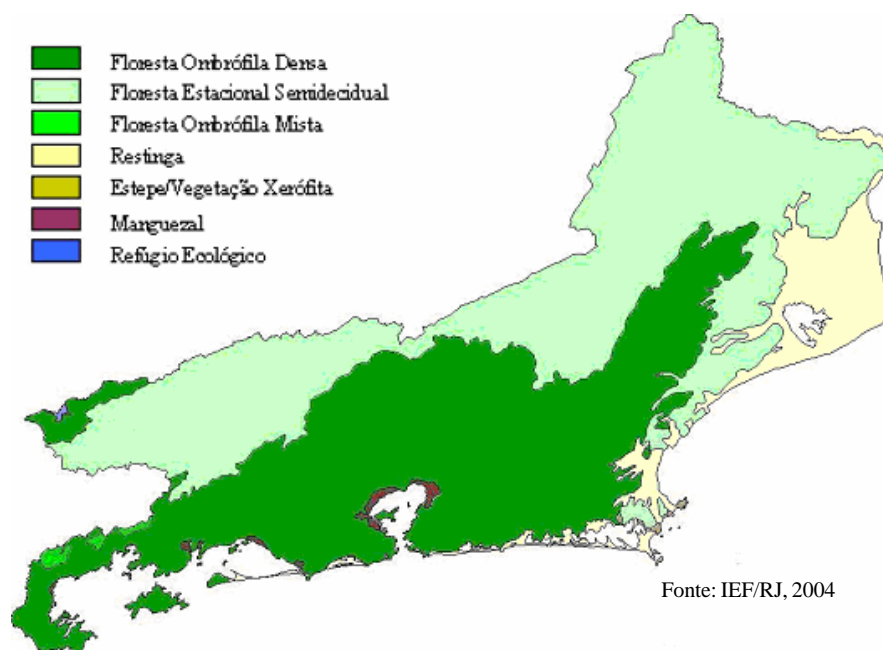


Figura 1 - Cobertura original estimada da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro

Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE (2002), os remanescentes florestais e ecossistemas associados da Mata Atlântica, restingas e mangues, no Estado do Rio de Janeiro, abrangem respectivamente 841.125 ha (19,24%), 40.673 ha (0,93%) e 7.150 ha (0,16%), do seu território, para o ano de 2000. Estes, encontram-se distribuídos em manchas maiores ou menores conforme a região, quase todas sem a devida conexão, transformando a Mata Atlântica num dos biomas mais ricos em biodiversidade e dos mais ameaçados do planeta, sendo por isto considerado um dos “*hotspot*” da Terra.

A representação da cobertura florestal atual do Estado do Rio de Janeiro é apresentada na carta síntese que se segue **Figura 2**.

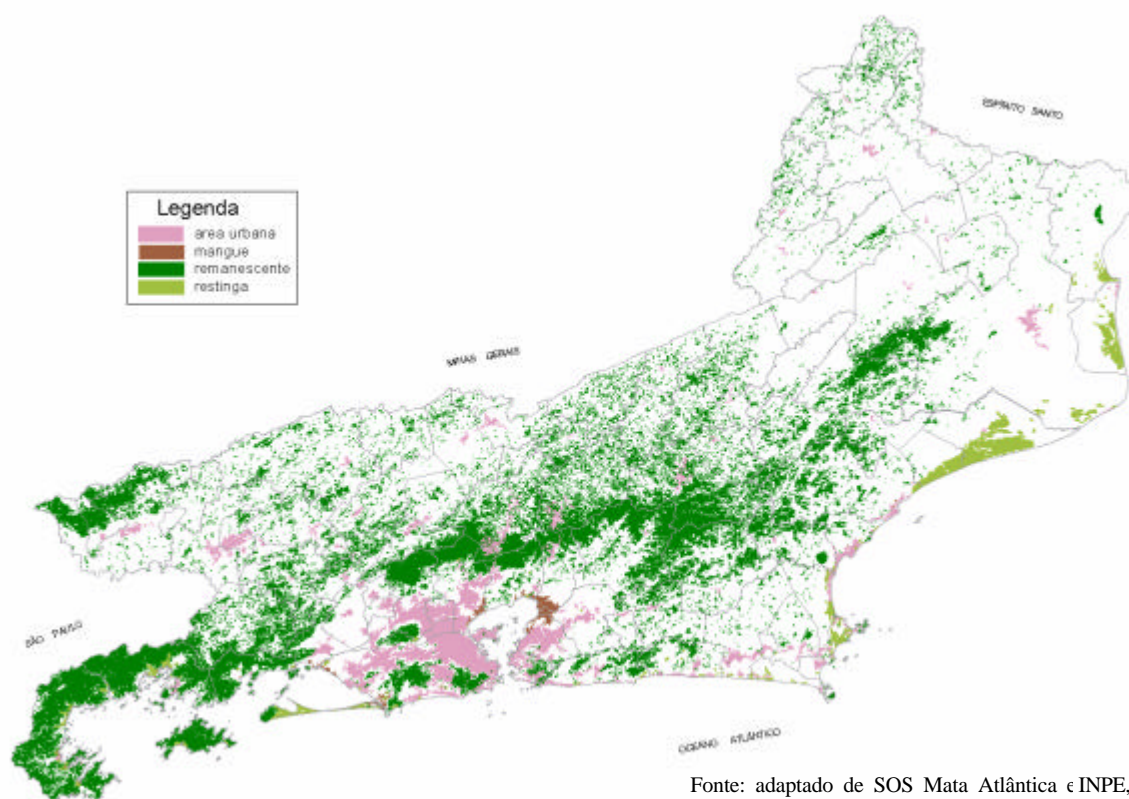
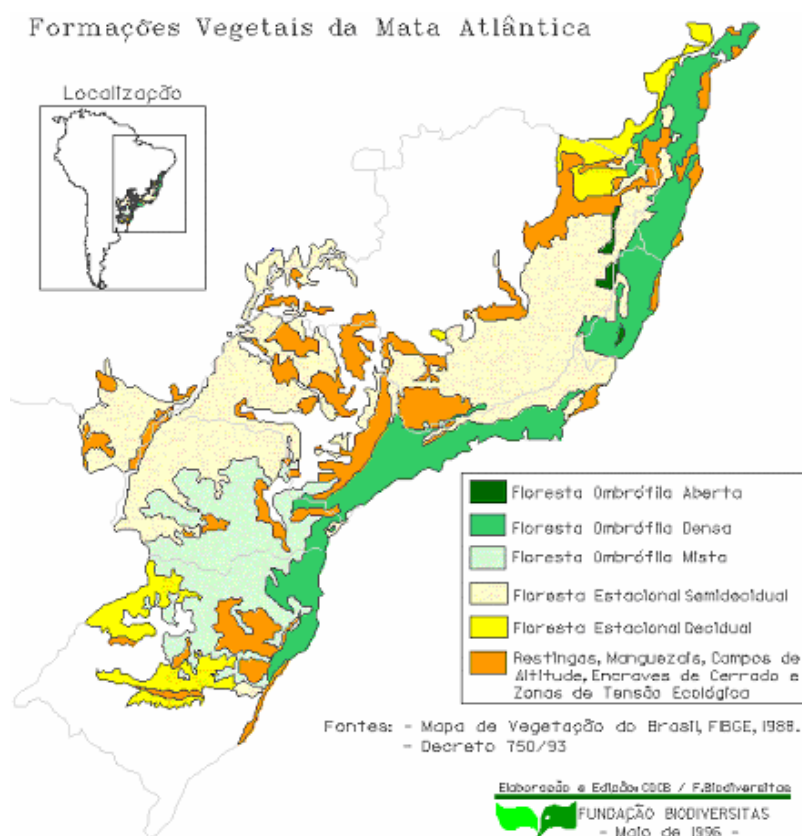


Figura 2 - Carta síntese da área remanescente de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro - período 1995 – 2000

4.3. “Hotspots”

Myers (1988) identificou 10 *hotspots* mundiais. De 1996 a 1999, o primatólogo norte-americano Russell a. Mittermeier, presidente da Conservation International – CI ampliou o trabalho de Myers com uma pesquisa da qual participaram mais de 100 especialistas. Esse trabalho aumentou para 25 as áreas no planeta consideradas *hotspots* – *toda área prioritária para conservação, isto é, de rica biodiversidade e ameaçada no mais alto grau, apresentando uma área com pelo menos 1.500 espécies endêmicas de plantas e que tenha perdido mais de 3/4 de sua vegetação original*. Juntas, cobrem apenas 1,4% da superfície terrestre, mas abrigam mais de 60% de toda a diversidade animal e vegetal do planeta.

Dos 25 *hotspots* mundiais, a Mata Atlântica está entre as cinco regiões que apresentam os maiores índices de endemismo de plantas vasculares e vertebrados (excluindo peixes), **Figura 3**



Fonte: Conservation International, 2003

Figura 3 – Formações Vegetais da Mata Atlântica no BRASIL

4.4. Reserva da Biosfera da Mata Atlântica

Criadas pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura), em 1972, as Reservas da Biosfera têm sustentação no “Programa Homem e a Biosfera” (MAB) da UNESCO, desenvolvido com o PNUMA (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza) e agências internacionais de desenvolvimento.

Entende-se como biosfera a porção da Terra onde a vida se faz presente, envolvendo a crosta terrestre, as águas e a atmosfera, responsáveis pela existência dos recursos naturais.

A Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, abrange principalmente as áreas mais bem preservadas desse ecossistema, assim como aquelas importantes para recuperação e proteção desses remanescentes, formando um corredor central que atravessa seu território de leste a oeste.

Homologada pela unesco em 10 de outubro de 1992, constitui-se num esforço de entidades governamentais e não-governamentais para preservar o conjunto de ecossistemas que compõe o Domínio Atlântico, (IEF/RJ, 1994).

O reconhecimento da Reserva da Biosfera no Estado do Rio de Janeiro se deu em duas fases.

Em meados de 1991, três áreas protegidas de relevância nacional foram consideradas: os Parques Nacionais da Tijuca e da serra dos Órgãos e a Reserva Biológica do Tinguá. O Estado do Rio abriga porções exuberantes da Mata Atlântica, que além de extraordinária biodiversidade, concentra monumentos e sítios naturais únicos na sua paisagem, beleza e relevância cultural. Com o objetivo de assegurar a essas parcelas da Mata Atlântica, o mesmo tratamento, o Instituto Estadual de Florestas propôs a ampliação da área abrangida pela Reserva da Biosfera para 42% do território fluminense, com uma área aproximada de 18.476 km² (1,847 milhões de hectares).

Em novembro de 1992, na fase II da Reserva da Biosfera, o reconhecimento foi estendido a toda área pleiteada, abrangendo quase que 2/3 da totalidade dos municípios fluminenses (RAMBALDI et al 2003), **Figura 4**.

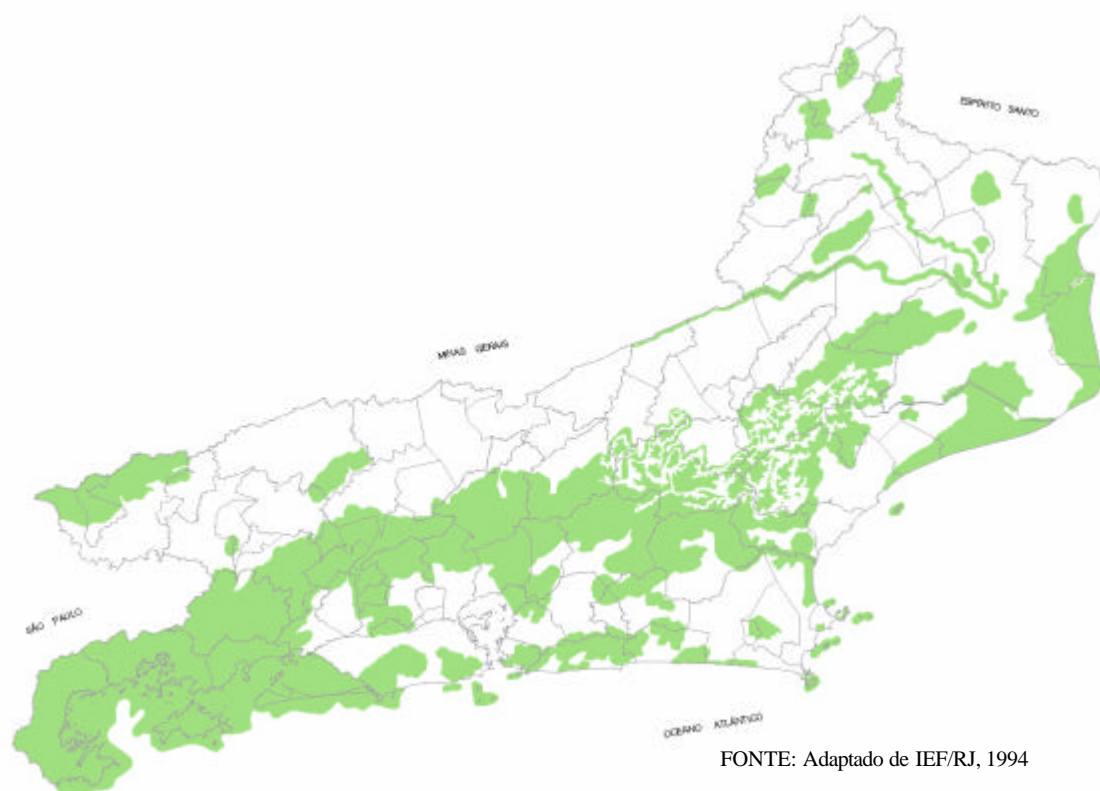


Figura 4 – Mapa da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro

4.5. As Unidades de Conservação

O Estado do Rio de Janeiro, possui aproximadamente 11% de seu território abrangido por Unidades de Conservação **Figura 5**, contemplando tanto a categoria de Proteção Integral quanto à de Uso Sustentável. Todas estão inseridas na Reserva da Biosfera, sendo 14 Parques, 06 Reservas Biológicas, 03 Estações Ecológicas, 16 Áreas de Proteção Ambiental, 02 Áreas de Relevante Interesse Ecológico, 04 Reservas Ecológicas, 01 Reserva Extrativista Marinha e 37 Reservas Particulares do Patrimônio Natural.

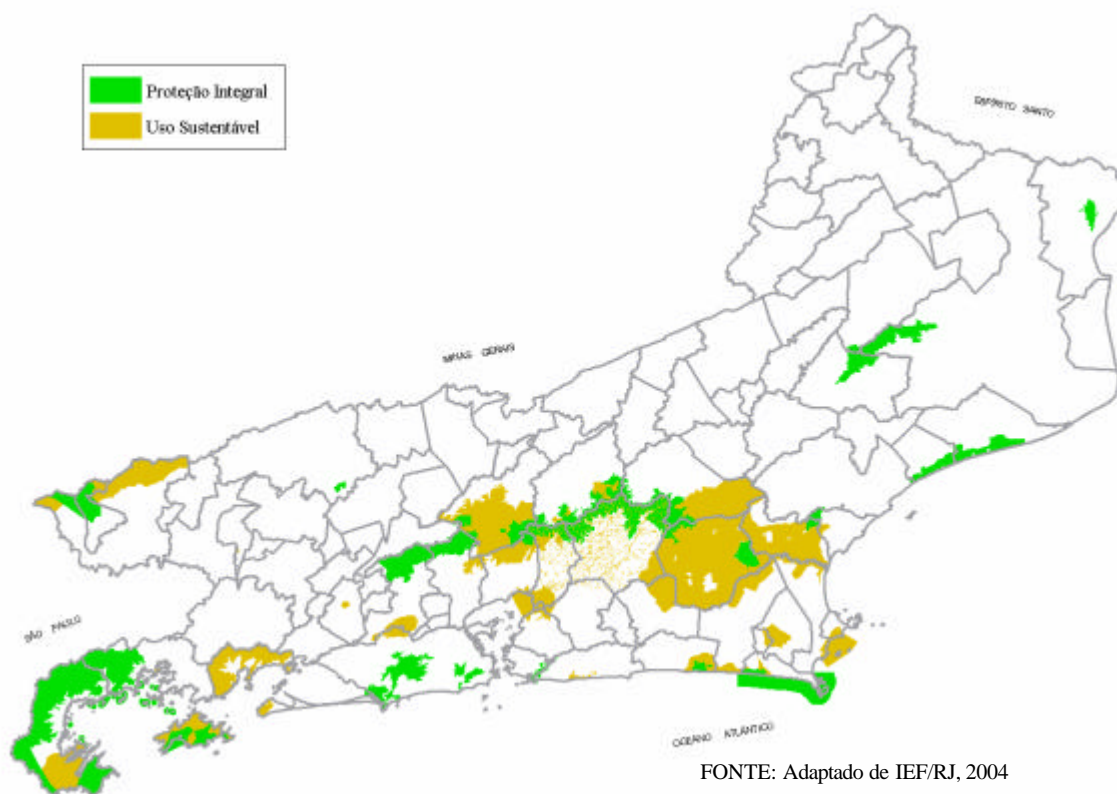


Figura 5 – Mapa de Unidades de Conservação no Estado do Rio de Janeiro

4.6. O Corredor Central da Serra do Mar

A porção da serra do Mar entre os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais é uma região de grande importância biológica e uma das prioridades para a conservação da Mata Atlântica, por sua riqueza de espécies e endemismos.

No eixo da serra do Mar existe uma das áreas mais ricas em diversidade biológica da Mata Atlântica. Apesar dessas florestas estarem situadas perto das duas maiores metrópoles do Brasil (São Paulo e Rio de Janeiro), elas possuem um dos principais trechos de Mata Atlântica do *hotspot*.

Nessa região, muitos remanescentes de mata compõem Unidades de Conservação, o que os tornam propícios para ações e investimentos em conservação alongo prazo – particularmente para a implementação de corredores destinados a aumentar a conectividade entre fragmentos.

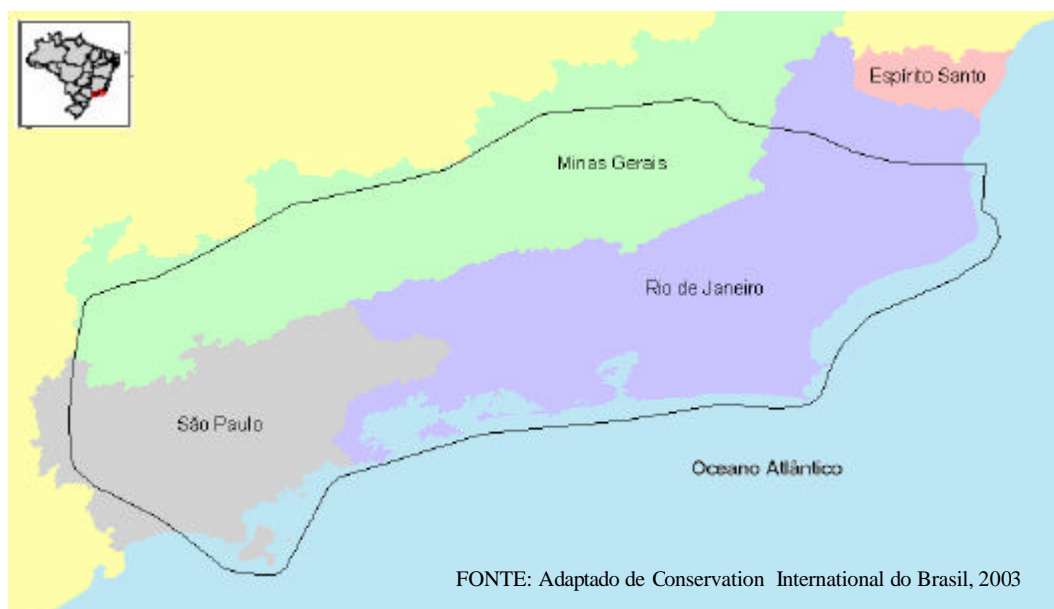


Figura 6 – Mapa do Corredor Central (eixo) da Serra do Mar

4.7. O Sensoriamento Remoto nos Estudos de Vegetação

Jensen (1996) *appud* Caetano et al (2003), chama a atenção para o fato de que, passados 30 anos desde o lançamento do primeiro satélite de observação da Terra, não se pode dizer que exista uma metodologia padrão para produção automática ou pelo menos semi-automática de mapas, a partir de imagens de satélite. No entanto, a maior parte dos projetos de produção de mapas de ocupação do solo com base em imagens de satélite, inclui os seguintes passos: pré-processamento, transformação de bandas, extração de informação temática, integração de informação auxiliar e avaliação da qualidade dos mapas produzidos.

Segundo Gurgel (2000), no caso da vegetação, há um interesse natural em seu monitoramento, uma vez que ela é fonte vital para a sustentação da vida humana em nosso planeta. Devido ao fato da dinâmica da cobertura vegetal afetar diretamente o ambiente terrestre, informações quantitativas e qualitativas sobre essa cobertura são necessárias para pesquisas de mudanças globais (TOWNSHEND et al., 1993).

5. O Parque Estadual do Desengano – PED

Criado pelo decreto-lei estadual n.º 250, de 13/04/70, e tendo os seus limites claramente definidos pelo decreto estadual n.º 7.121, de 28/12/83, que institui uma área de proteção ambiental no mesmo território, o Parque Estadual do Desengano abrange área de 22.400 hectares (224 quilômetros quadrados) e constitui o último remanescente contínuo de Mata Atlântica em ampla região, que abrange terras dos municípios de Santa Maria Madalena (na região serrana), e de Campos e São Fidélis (no norte fluminense), no Estado do Rio de Janeiro/BRASIL. **Figura 7**

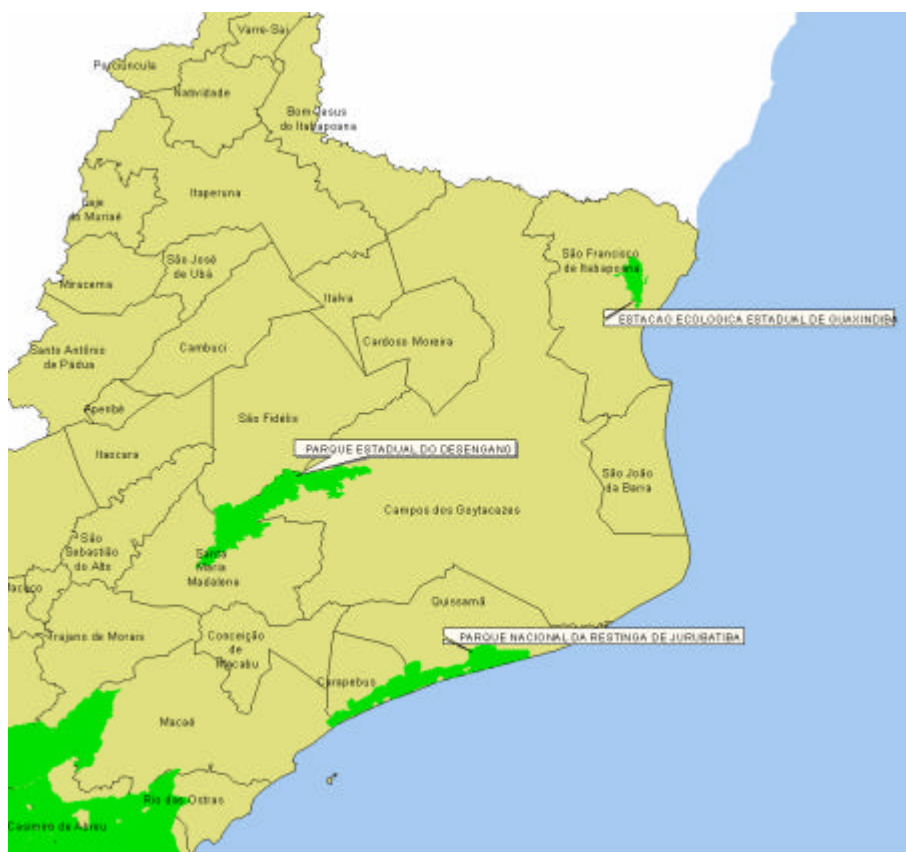


Figura 7 – Mapa da Região do Parque Estadual do Desengano

O relevo do parque se caracteriza por cristas de topos aguçados, pães de açúcar, morros, pontões, escarpas com até 75 graus de inclinação e patamares escalonados. Na paisagem sobressaem o pico do Desengano, com altitude de 1.761 metros, o pico São Mateus, com 1.576 metros, e a pedra Agulha, com 1.080 metros.

A importância hídrica do parque é inestimável. Numerosos cursos d'água têm nascentes no seu interior, sendo alguns responsáveis pelo abastecimento de núcleos povoados nos municípios de Santa Maria Madalena, São Fidélis e Campos. São também, valiosos atrativos, a exuberância de cenários naturais e numerosas cachoeiras, entre as quais estão Vernec, Bonita e a Tromba d'água. Os rios mais conhecidos são o rio Grande e seus afluentes, os ribeirões Macapá e Santíssimo, o rio do Colégio e os rios Segundo do Norte, Morumbeca, Aleluia e Mocotó, afluentes do rio Imbé. Este deságua na lagoa de Cima que, por sua vez, por meio de um sangradouro formado pelo rio Ururaí, flui para a lagoa Feia.

A cobertura vegetal é formada por floresta ombrófila densa montana e submontana e por campos de altitude. A floresta submontana reveste as terras até à cota altimétrica de 500 metros, ao passo que a floresta montana situa-se entre 500 e 1.500 metros. Os campos de altitude ocorrem geralmente acima de 1.600 metros.

Das 283 espécies de avifauna encontradas nos campos de altitude, 22 são endêmicas e ocorrem em populações reduzidas. Segundo Martinelli, (1989), o parque do desengano apresenta os campos de altitude mais conservados do estado, se comparados com os de Itatiaia, Frade, morro do Cuca e Antas. O Clube de Observadores de Aves (COA) do Rio de Janeiro vem estudando as aves do desengano desde 1985, tendo sido encontradas na região cerca de 410 espécies, o que evidencia a sua alta biodiversidade. Muitas delas estão ameaçadas de extinção, como a jacutinga, o macuco, o gavião-pomba, o gavião-pato, e outras como o jacu, o inhambu, a araponga, o gavião-pega-macaco e o papagaio-chauá só remanesçam nas áreas protegidas.

Entre os mamíferos, destacam-se: a preguiça-de-coleira, a onça-parda, o quati, a paca, o macaco barbado, o tatu-galinha, a irara, o cateto, o queixada, o sauá, a cuíca, o macaco-prego, o furão e o mão-pelada. Em julho de 1999, foi observado também o muriqui, espécie de primata altamente ameaçada de extinção. A descoberta do muriqui atraiu a atenção da comunidade científica nacional e internacional e motivou investimentos em pesquisa e atividades conservacionistas, a exemplo do que vem sendo realizado com o Mico-Leão-Dourado nas Reservas Biológicas de Poço das Antas e União, ambas federais (IEF/RJ, 2004).

6. Princípios do Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto, no caso específico dos sensores ópticos ou passivos, apóia-se na refletância da Radiação Eletromagnética (REM) das feições existentes na superfície do planeta.

Esses sensores, trabalhando em faixas específicas de comprimento de onda da REM, registram o comportamento dos alvos em função de suas propriedades físico-químicas. Essas por sua vez, alteram-se dependendo da região do planeta aonde se encontram. Por exemplo, as regiões polares estão sujeitas a menor insolação, baixas temperaturas e baixa pluviosidade. Já a região equatorial apresenta grande insolação, tanto ao longo dos dias quanto ao longo do ano, bem como elevadas temperaturas e maior pluviosidade.

Esses fatores têm influência direta no metabolismo dos seres vivos, nesse caso em especial os vegetais, interferindo na concentração de água, nos pigmentos e na estrutura celular.

6.1. Comportamento Espectral da Vegetação

Segundo Rosa (1995), basicamente, a medida da reflectância espectral da vegetação depende de uma série de fatores como as condições atmosféricas, espécie, solo (granulometria, água, nutrientes), índice de área foliar (cobertura da vegetação por unidade de área), estado fenológico (variação sazonal), biomassa (densidade total de vegetação), folha (forma, posição, água, pigmentação, estrutura interna, etc.), geometria de medida, tipo de sistema sensor e cobertura da copa.

A análise do comportamento espectral de alvos naturais, em especial a vegetação, pode ser feita a partir da interpretação da sua curva de reflectância como mostrado na **Figura 8**.

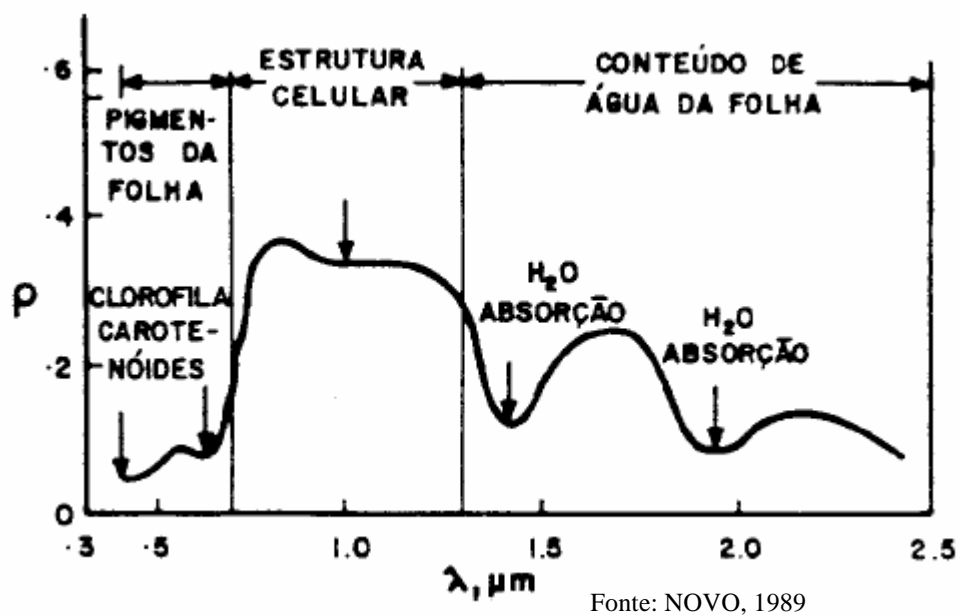


Figura 8 – Comportamento Espectral da Vegetação

Esse comportamento espectral varia entre 0,4 e 2,6 μm , abrangendo as faixas do visível (0,4 a 0,7 μm), infravermelho próximo (0,7 a 1,3 μm) e infravermelho médio (1,3 a 2,6 μm), e decorre de três características básicas, a presença de pigmentos, a estrutura celular e a quantidade de água, das folhas do vegetal.

Segundo Ponzoni (2001), o comportamento espectral da radiação eletromagnética (REM), na faixa do visível, prioritariamente, decorre prioritariamente da presença de pigmentos existentes nas folhas. Esses pigmentos, geralmente encontrados nos cloroplastos são: clorofila (65%), carotenos (6%) e xantofilas (29%). Os valores percentuais desses pigmentos, podem variar de espécie para espécie.

Caracteristicamente, apenas a clorofila absorve na região do vermelho (0,645 μm), resultando numa baixa reflectância, e apresentando-se numa tonalidade escura

Já na faixa do infravermelho próximo, a reflectância está diretamente ligada a estrutura celular da folha, prioritariamente, o mesófilo. A variação na estrutura celular e, conseqüentemente, dos espaços vazios existentes em seu interior, irá interferir no espalhamento da rem, alterando os valores de reflectância. A vegetação nessa faixa costuma apresentar tonalidade clara.

A presença de água no interior da folha ocasiona grande absorção da REM, na faixa do infravermelho médio, resultando numa baixa reflectância, e apresentando-se com tonalidade escura. Esse fenômeno se acentua nos valores de comprimento de onda próximos de 1,450 e 1,950 μ m.

A reflectância, na faixa do visível, decresce com a maturidade do vegetal Gates e Tantrapporn (1952) appud Ponzoni (2001). No caso da clorofila, sua quantidade se eleva gradativamente durante o seu desenvolvimento, tendendo a estabilizar-se quando atinge a maturidade fisiológica, quando passa a apresentar um declínio acentuado até sua completa maturação. A partir do momento em que a planta entra na fase de senescência, inicia-se um processo de degradação dos pigmentos (clorofila), responsáveis pela absorção de energia solar na região do visível, o que resulta numa maior reflectância das folhas senescentes em relação às folhas jovens, (Moreira, 2001).

Ainda segundo Moreira (2001), o comportamento espectral dos vegetais, relacionado à questão de déficit hídrico, na faixa do visível, está associado a uma baixa reflectância. Numa estratégia de reduzir a perda de água, ocorre o fechamento dos estômatos, resultando na diminuição da atividade fotossintética, em razão de uma menor absorção do CO₂ do meio.

Knipling (1970) appud Ponzoni (2001), verificou que estresses fisiológicos afetam diretamente a reflectância de folhas individuais, e que as alterações mais pronunciadas ocorrem na região do visível devido à sensibilidade da clorofila.

Segundo Ponzoni (2001), assim como acontece com qualquer outro objeto de estudo, as técnicas de sensoriamento remoto são inerentes às chamadas ambigüidades nas quais os efeitos de diferentes fatores/parâmetros podem imprimir valores iguais de radiância, o que implicará a “mesma” aparência nas imagens, mesmo tratando-se de diferentes coberturas vegetais. Cabe ao intérprete estar preparado para conviver com essas limitações e extrair dos produtos do sensoriamento remoto o máximo de informação confiável. A experiência de campo do intérprete sobre os conhecimentos de todas as características do material será importante para a boa interpretação das imagens (grifo meu).

7. Metodologia Proposta

O método proposto pretende otimizar o tempo e os custos de processamento de imagens de satélite, para o mapeamento e monitoramento dos remanescentes de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, contemplando as etapas descritas na **Figura 9** e suas respectivas atividades.

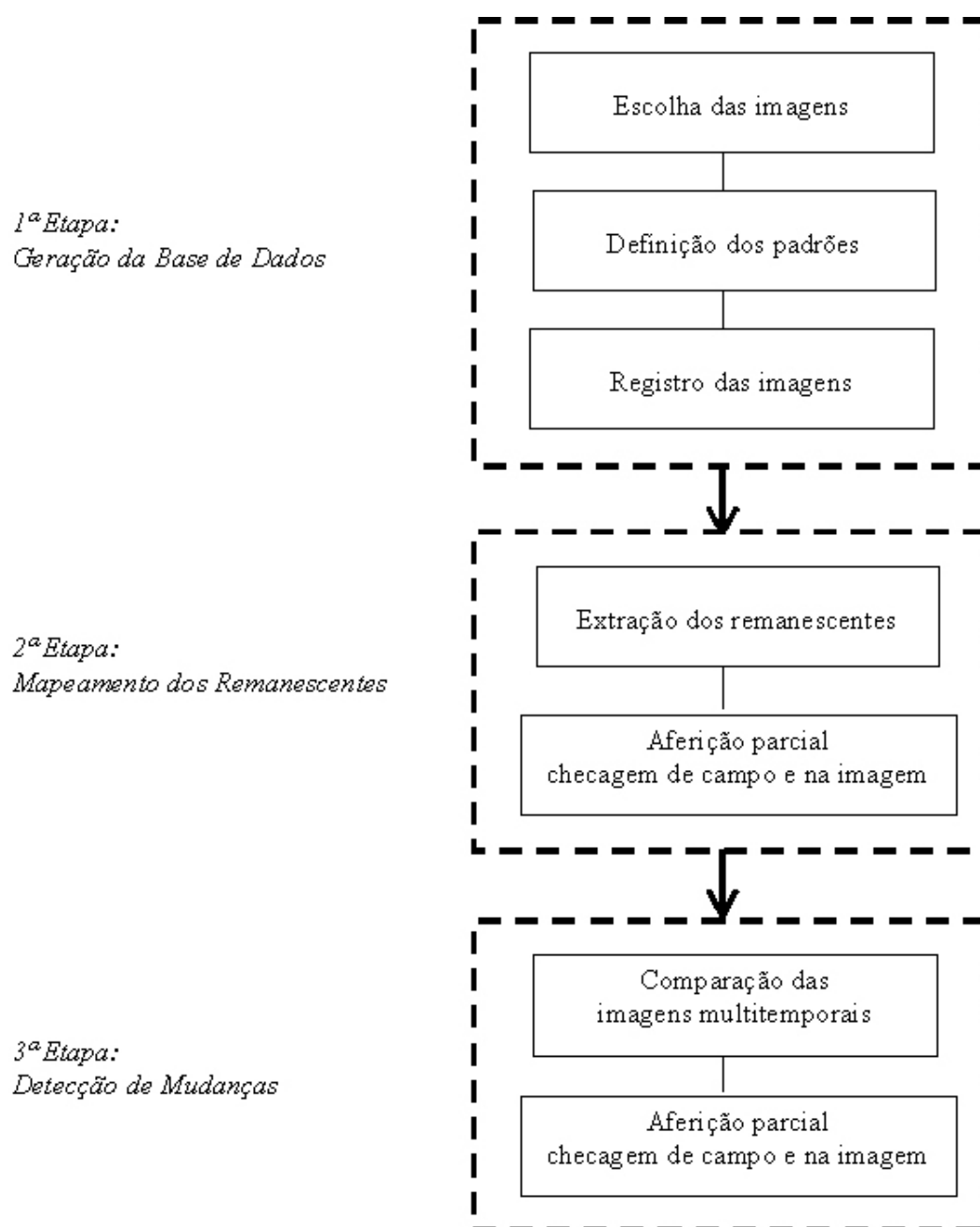


Figura 9 – Fluxograma da Metodologia Proposta

Mas (1997), comparando técnicas de detecção de mudanças no uso das terras, destaca que os procedimentos para a detecção de mudanças são agrupados em três etapas, caracterizadas pelos procedimentos de transformação dos dados e análises técnicas usadas para definir as áreas de principais mudanças: a) realce da imagem, b) classificação dos dados multitemporais, e c) comparação das duas classificações individuais de uso da terra.

No presente estudo, procurou-se avaliar a eficácia do método proposto, que segue de maneira geral as etapas acima mencionadas, sem entretanto aplicar qualquer tratamento ou realce a imagem original, evitando assim as alterações efetuadas para uma melhor visualização das imagens, inerentes a esses processamentos, e preservando os valores originais dos pixels para o processo de classificação.

IEF/RJ, (2001), avaliando a metodologia de monitoramento da cobertura vegetal, aplicada a imagens do sensor TM do satélite LANDSAT 5 dos anos de 1996 e 1998, na região da bacia hidrográfica contribuinte à Baía de Guanabara/RJ, demonstra que as alterações referentes aos estágios de regeneração das formações florestais, não foram satisfatórias, uma vez que não apresentavam consistência quando analisados separadamente. Em consequência, as análises serão mais confiáveis se considerarmos as classes de floresta em estágios de regeneração avançado e médio como uma única classe, denominada remanescentes florestais. Segundo os resultados observados, verificou-se que, grande parte das alterações deveram-se à mudança da classe floresta em estágio médio para o estágio avançado de conservação. Tal ocorrência, em período tão curto, seria pouco provável.

O presente estudo adotou o procedimento de generalização das classes referentes aos estágios médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, tanto para a etapa de mapeamento quanto para a de detecção de mudanças, procedimento esse que otimiza bastante o processamento e aferição do mapeamento.

Destaca-se ainda, o fato de o IEF/RJ ser o órgão responsável pela política florestal, e portanto, deve adotar procedimentos amparados na legislação ambiental vigente. Os estágios médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, juntamente com a vegetação primária, apresentam a mesma restrição legal, sendo imunes de corte, exploração e supressão, conforme estabelece o artigo 1º do Decreto Federal nº 750 de 10/02/93, salvo situações extraordinárias previstas no referido decreto.

A utilização de bandas únicas para a extração de informações sobre a vegetação é uma técnica que já vem sendo utilizada em alguns trabalhos, como por exemplo Alves et al (1998a) e Oliveira et al (2003) que optaram por bandas que refletem de maneira característica a feição desejada.

A escolha da banda 3 neste trabalho justifica-se pelo fato dessa registrar a reflectância da REM na faixa do visível, mais especificamente do vermelho, possibilitando a separação dos remanescentes de Mata Atlântica,. Essa reflectância está diretamente relacionada à concentração dos pigmentos existentes nos vegetais. Esses, apresentam-se de forma estável nas formações florestais, decorrente da maturidade dos vegetais, que formam o dossel das florestas, e que constituem-se na superfície responsável por grande parte da reflectância registrada pelo sensor, apesar da interferência produzida pelos estratos inferiores e pelo próprio solo.

A separação dos remanescentes é aplicada em imagens de períodos distintos, sendo posteriormente gerada a imagem diferença, objetivando a identificação de mudanças na cobertura vegetal, sejam essas referentes à perda ou ganho de área florestal..

A exatidão do mapeamento é avaliada em dois momentos. Uma primeira avaliação é efetuada após a geração da imagem classificada, resultante da separação dos remanescentes florestais. Uma segunda avaliação é realizada após a geração da imagem diferença, para que se tenha uma indicação da consistência e confiabilidade desses dados.

Segundo IEF/RJ (2001), a qualidade da classificação de imagens orbitais é avaliada por meio de índices de exatidão, calculados a partir de matrizes de erros que expressam a concordância entre a imagem classificada e a verdade de campo, representada pela amostra de referência. Através destes índices torna-se possível determinar a probabilidade de um determinado ponto estar mapeado corretamente, tanto no que diz respeito à classe a que o mesmo pertence, quanto em relação ao seu posicionamento espacial. Deste modo, estes índices indicam a probabilidade de um determinado ponto no mapa ocorrer naquele posicionamento em terra e pertencer à classe mapeada.os valores referentes à exatidão do mapeamento referem-se somente à probabilidade de um determinado ponto estar mapeado corretamente e não indica a probabilidade da área calculada estar correta. O Índice *Kappa* vem sendo recomendado como uma medida apropriada da exatidão por representar inteiramente a matriz de confusão.

O apoio de fotografias aéreas, e a realização de campanhas de campo, para o conhecimento da verdade terrestre, é indispensável ao trabalho de interpretação das imagens de satélite.

Uma última questão que merece destaque, é aquela referente ao tamanho mínimo das áreas a serem efetivamente consideradas, tanto para a etapa de extração de remanescentes, quanto para a de detecção de mudanças/alterações, em função da resolução das imagens utilizadas.

SOS Mata Atlântica e INPE (2002), realizando interpretação visual de imagens LANDSAT 5 TM e 7 ETM+, para a geração de mapeamento dos remanescentes de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, na escala 1:50.000, estabeleceu áreas mínimas de 10 hectares.

7.1. Descrição

7.1.1. Escolha das Imagens

A utilização de imagens multitemporais para o monitoramento de fenômenos ou feições terrestres requer alguns cuidados especiais, uma vez que os produtos de sensores passivos, como no caso do satélite LANDSAT 7 ETM+, sofrem influência, como por exemplo, das condições atmosféricas.

Regiões que apresentam variações climáticas mais acentuadas e possuem estações bem definidas, apresentam mudanças claras na reflectância da vegetação. A resposta espectral dessa vegetação irá variar em função da quantidade de água no interior das folhas, ou mesmo na quantidade de folhas em sua copa, como no caso de espécies decíduas e semidecíduas.

Um outro ponto a se destacar, refere-se as resoluções espacial, espectral e temporal. É necessária a definição dos objetivos e da dinâmica das feições a serem monitoradas, para que se possa escolher que tipo de imagens utilizar.

Por fim, temos o processo de escolha das imagens com datas compatíveis, obtidas preferencialmente na mesma época do ano, pois as influências decorrentes do ângulo de inclinação do sol, da umidade relativa do ar, das estações secas e chuvosas são fatores que influenciam na resposta espectral da vegetação.

7.1.2. Definição de Padrões

As limitações, apresentadas pelas imagens de satélite e pelos processos de interpretação, ocasionada, por exemplo, pela baixa resolução espacial, torna necessária a checagem da verdade terrestre através de fotografias aéreas e campanhas de campo. Isto demanda a definição de padrões referentes à feição de interesse a ser mapeada, tanto na imagem de satélite quanto nas fotografias aéreas utilizadas como apoio, estabelecendo assim uma correlação entre ambas.

Esses padrões levam em consideração principalmente cor, textura e forma, apesar do procedimento aqui utilizado para o mapeamento de remanescentes florestais, apoiar-se somente nos valores de reflectância (ND=número digital) dos pixels.

Na definição desses padrões da imagem de satélite, foram adotados os seguintes passos:

Identificação visual dos padrões referentes aos remanescentes na imagem de satélite;

Identificação desses padrões nas fotografias aéreas;

Associação desses padrões;

Segundo Perdigão e Annoni (1997), a análise visual de imagens consiste na identificação visual de áreas com a mesma classe de ocupação do solo e na sua delimitação. Essa análise é efetuada diretamente na tela do computador, permitindo a geração imediata de dados digitais. Por sua vez, exige a definição precisa de normas de interpretação visual e a seleção da composição colorida que melhor permita a identificação das classes de interesse, conforme destaca (CAETANO et al, 2003).

Pelo fato de se ter o mesmo entendimento, quanto à questão da análise visual acima mencionada, o autor achou indispensável destacar na metodologia aqui proposta, a etapa de associação de padrões entre as imagens de satélite e as ortofotos.

7.1.3. Escala

A utilização de imagens do satélite LANDAST 7 ETM+, possibilita a realização de mapeamentos em escala regional. Em comparação ao satélite LANDAST 5TM, que apresentava resolução espacial de 30m para as bandas do visível e infravermelho, este teve

um ganho considerável com a adição de uma banda pancromática, com resolução espacial de 15m, abrangendo a faixa entre 0,52 e 0,90 μm , permitindo um bom nível de detalhamento de feições naturais e artificiais existentes na superfície terrestre, a partir da fusão dessa com as demais bandas.

Tomando-se por base o fato de que, o erro de georreferenciamento, aceito para essas imagens está entre 0,5 e 1.0 pixel, o que representa uma variação entre 15 e 30m; sendo que por sua vez, o erro cartográfico aceito para uma base cartográfica na escala 1:50.000 é de 25m, para aquelas classificadas como PEC-A, definiu-se então para o presente estudo esta mesma escala.

Entende-se que, apesar de se tratar de dois parâmetros distintos, embora relacionáveis, nesse caso escala cartográfica e resolução espacial, é necessário estabelecer um critério para a conjugação desses dados, uma vez que os mesmos irão constituir um SIG, e conseqüentemente permitir análises espaciais.

Portanto, o presente estudo adota a escala 1:50.000, por considerá-la adequada.

7.1.4. Registro das Imagens

Para o registro das imagens, deve-se preliminarmente estabelecer alguns parâmetros referentes à projeção, Datum horizontal, dimensionamento e delimitação da área de trabalho, base cartográfica de apoio e, pontos de controle.

A maioria das imagens adquiridas pelos usuários já possui um certo nível de correção e um sistema de projeção cartográfica. Isto significa que o posicionamento relativo dos pixels é condizente com o sistema de referência de uma certa projeção cartográfica. Desta forma, basta ao usuário aplicar o modelo polinomial (registro de imagens) para um refinamento da correção geométrica em um ambiente SIG (sistema de informação geográfica) que suporta os formatos vetoriais e raster, (D'ALGE, 1997).

As bases cartográficas produzidas pelo IBGE e DSG, na escala 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000, encontram-se associadas à projeção UTM, apresentando variações quanto ao datum horizontal. Mesmo estando bastante desatualizadas, na maioria dos casos, essas se constituem num bom apoio ao registro de imagens LANDSAT.

Da mesma forma, os receptores GPS (Global Positioning System) de navegação, são um bom instrumento de apoio ao georreferenciamento dessas imagens, uma vez que apresentam um erro de posicionamento da ordem de 10 a 30m.

Trabalhos desenvolvidos recentemente pelo laboratório de geoinformação do IEF/RJ - LAGIEF, vem demonstrado que esse erro pode ser ainda menor, tendo apresentado em alguns casos, valores inferiores a 10m. Destaca-se ainda que, na maioria desses têm-se utilizado como parâmetro de comparação, dados coletados com DGPS (Diferencial Global Positioning System), após correção diferencial.

Estabelecidos os parâmetros acima mencionados, inicia-se o processo de registro, contemplando inicialmente o recorte de uma cena LANDSAT ou mesmo o mosaico de várias cenas. Nesse caso especificamente, é recomendado o registro individual das cenas, seguindo-se os parâmetros acima estabelecidos, para posteriormente efetuar a mosaicagem das mesmas. Isso, reduz as possibilidades de distorção, garantindo uma maior fidelidade na geometria da imagem a ser trabalhada.

Definiu-se como critério básico para o método aqui proposto, a geração de uma imagem referência, que será utilizada como padrão para o registro das imagens posteriores a serem utilizadas no processo de monitoramento. Isso facilita a coleta de pontos na imagem a ser trabalhada, uma vez que, a variação na reflectância não é tão acentuada para os pontos de controle normalmente utilizados, como cruzamento de estradas, aeroportos, confluência de rios, entre outros.

SOS Mata Atlântica e INPE (2002), trabalhando com imagens LANDSAT 5 TM e 7 ETM+, utilizaram imagens de 1995 como referência para o georreferenciamento de imagens de 2000, adotando 50 pontos de controle em média por cena, admitindo um erro médio de 30m.

Oliveira et al (2003) destaca a importância na precisão do registro das imagens a serem utilizadas em processamentos voltados para a detecção de mudanças – *“deve-se assegurar que os resultados do método adotado não são conseqüências do processamento adotado em vez de reais mudanças (MOUAT et al. 1993)”*.

7.1.5. Mapeamento dos Remanescentes Florestais

A utilização de bandas únicas para o mapeamento de vegetação, tem sido testada em alguns casos MALDONADO e CARVALHO (2003). No presente estudo optou-se por testar a banda 3, que trabalha com a baixa reflectância da vegetação, resultante da alta absorção da REM pelos pigmentos dos vegetais.

Segundo Caetano (2002), a correção radiométrica em cartografia temática é, na prática, apenas aconselhável em zonas com relevo, e em estudos multi-temporais que envolvam a comparação direta de imagens adquiridas em momentos diferentes.

O método proposto, não contempla nenhuma correção radiométrica nas imagens, objetivando avaliar, inicialmente, a viabilidade do mesmo, sem qualquer alteração dos dados originais, senão aquelas resultantes da correção geométrica.

Com o objetivo de facilitar a separação dos pixels que representam os remanescentes florestais, e otimizar o processamento das imagens, optou-se por excluir as áreas referentes aos corpos hídricos e afloramentos rochosos, de maiores dimensões.

No caso dos corpos hídricos foi utilizada a banda 4 que, em função da baixa reflectância, apresentam tonalidade bastante escuras, e valores de ND bem próximos de zero. Isso facilita a sua delimitação e conseqüentemente a criação de uma máscara nessas regiões. A todos os pixels inseridos nessas áreas é atribuído o valor zero.

Já no caso dos afloramentos rochosos, optou-se por utilizar as composições coloridas 453 e 237, que permitem a delimitação dos mesmos com certa facilidade. Em função da ocorrência de vegetação rupestre existente nos afloramentos, interferindo na reflectância dos mesmos, foram utilizadas as fotos aéreas como ferramenta de apoio para essa delimitação. Da mesma forma que nos corpos hídricos, a todos os pixels inseridos nessas áreas foi atribuído o valor zero.

A partir da aplicação dessas máscaras, em ambas as imagens, inicia-se o processo de identificação do intervalo de ND referente à feição remanescente florestal.

Esse pode utilizar tanto o histograma, quanto à tabela de atributos da imagem para, dentre os valores que vão de 0 a 255, identificar aquele que melhor contempla a feição de interesse.

Após este processamento, realizou-se uma comparação dessa imagem trabalhada com uma composição colorida 453, para verificar a ocorrência de pixels referentes à classe remanescentes florestais, que não foram contemplados na separação, identificando da mesma forma, os pixels representantes de outras feições que foram incluídos erroneamente naquela classe, fazendo-se os ajustes necessários para minorar as incorreções.

Recomenda-se, a comparação com fotografias aéreas, principalmente nas áreas aonde a composição colorida 453 não permite uma clara identificação da feição de interesse, objetivando a obtenção de melhores resultados para o método aqui proposto.

Em seguida, geram-se imagens, para cada um dos anos, contendo apenas os pixels referentes aos remanescentes, atribuindo-se valores distintos para a classe *remanescente* e *não remanescente*.

Para a imagem do ano a ser utilizado como base para o monitoramento, os pixels referentes à classe *remanescente* são recodificados e agrupados no valor 1. Já os pixels da classe *não remanescente* são agrupados e recodificados para o valor 3. Isso resulta numa imagem com apenas dois valores de ND.

Esse procedimento acima visa, otimizar o tempo de processamento, em função do tamanho reduzido dos arquivos a serem processados, assim como, preparar os arquivos para a etapa de detecção de mudanças.

7.1.6. Aferição do Mapeamento de Remanescentes Florestais

Para a aferição do grau de exatidão do mapeamento, utiliza-se o cálculo de Índice *Kappa*. Este índice leva em consideração todos os elementos da matriz de confusão, ao invés daqueles que se situam na diagonal da mesma, o que ocorre quando se calcula a exatidão global da classificação IEF/RJ (2001).

Segundo Landis e Kock (1977), a análise de valores para o coeficiente *Kappa* entre 0,8-1,0, revela uma excelente qualidade do mapa temático, (MONTESI, 2003).

O número de pontos definidos para a malha de amostragem é função do grau de exatidão esperado e do erro permissível, sendo obtido através da equação:

$$N = \frac{[4(p)(q)]}{E^2}$$

Onde:

P = percentual de exatidão esperado;

Q = 1 - p;

E = intervalo de confiança desejado.

IEF/RJ (2001), ao considerar um percentual de exatidão de 85% e um intervalo de confiança de 5%, obteve o número mínimo de 204 pontos a serem amostrados. Tais valores são considerados satisfatórios segundo a literatura.

Da mesma forma, o método aqui proposto, segue os mesmos parâmetros para aferição do grau de exatidão do mapeamento.

Realiza-se então a comparação de uma composição colorida 453 e a imagem resultante do mapeamento dos remanescentes florestais, verificando-se a concordância entre o pixel de referência e o pixel classificado, inferindo-se o valor referente à classe *remanescente* ou *não remanescente*, para o ponto amostrado.

Da mesma forma, é realizada uma comparação com as fotografias aéreas disponíveis, o que permite uma maior clareza quanto à verdade terrestre.

Cabe destacar que o mais adequado é a verificação em campo para confirmar se a classificação coincide com a verdade terrestre, mesmo dispondo-se de fotografias recentes.

Por fim, é processado o Índice *Kappa*, para que se obtenha os valores referentes à exatidão do mapeamento.

7.1.7. Detecção de Mudanças

Nessa etapa é efetuada a comparação das imagens classificadas, a partir da adição das mesmas, obtendo-se, como resultado, uma outra imagem apresentando, tanto os pixels que não sofreram alteração, quanto àqueles que sofreram alguma alteração.

A imagem resultante dessa comparação, irá apresentar pixels com os seguintes valores:

- 2 - para a classe *remanescente* que não sofreu alteração,
- 3 - para a classe *remanescente* que passou para a classe *não remanescente*,
- 4 - para a classe *não remanescente* que passou para a classe *remanescente*, e
- 5 - para a classe *não remanescente* que não sofreu alteração.

Assim, é possível identificar não apenas as alterações, mas também, se houve perda ou ganho de vegetação florestal.

Mas (1997), na determinação da acurácia da imagem diferença efetuou uma amostragem, ao acaso, de 180 pontos contidos na área de estudo. Pontos correspondentes a nuvens, lagoas ou situados nas bordas de diferentes classes de uso da terra foram eliminados, restando 106 pontos. Mudanças naturais contidas num raio de 200m dos pontos selecionados foram determinadas por comparação entre fotos aéreas, mapas de vegetação e composições coloridas das duas imagens. Para esses pontos foram determinados dois níveis de informação, o primeiro nível indicando se ocorreu ou não mudança, e o segundo nível indicando a mudança de uma determinada classe para uma nova classe.

7.1.8. Aferição da Detecção de Mudanças

Nesta etapa será efetuada nova aferição, seguindo-se os procedimentos estabelecidos na aferição parcial, para que se estabeleça o grau de confiabilidade e consistência da detecção de mudanças, e conseqüentemente da metodologia de monitoramento proposta.

8. Estudo de caso

8.1. Área de Estudo

Para desenvolvimento do presente estudo optou-se pela região norte do Estado, uma vez que estava se iniciando o projeto de implantação do Parque Estadual do Desengano – PED, sob administração do IEF/RJ, viabilizado a partir da aplicação de recursos de compensação ambiental previstos na lei nº 9985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC. Dentre os principais objetivos do projeto, estava à elaboração do plano diretor da unidade e seu respectivo zoneamento, cuja metodologia proposta apoiava-se na utilização de Sistemas de Informação Geográfica-SIG e Sensoriamento Remoto-SR.

A área de estudo refere-se especificamente ao Parque Estadual do Desengano e sua área de influência direta, estabelecida pelo subprojeto de elaboração do Plano Diretor da unidade.

Compreendida entre as coordenadas UTM UL X,Y 179549;7604845 e LR X,Y 248639;7553785, zona 24, Datum Córrego Alegre (COA), apresenta área aproximada de 3538 km², sendo coberta pela cena 216-75, do satélite LANDSAT 7 ETM+.

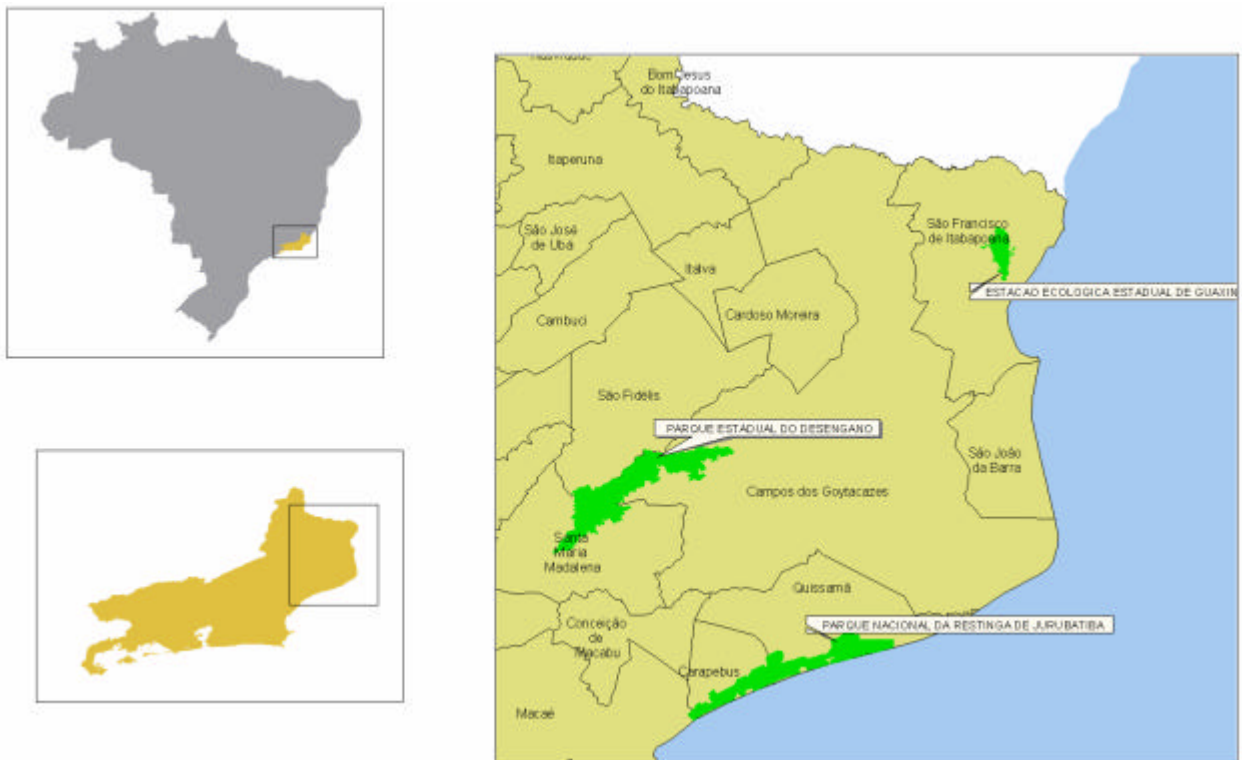


Figura 10 - Localização do PED em relação ao Estado e ao BRASIL

De relevo bastante acidentado, apresenta características específicas, constituindo-se no último grande remanescente de Mata Atlântica da região norte-noroeste do Estado

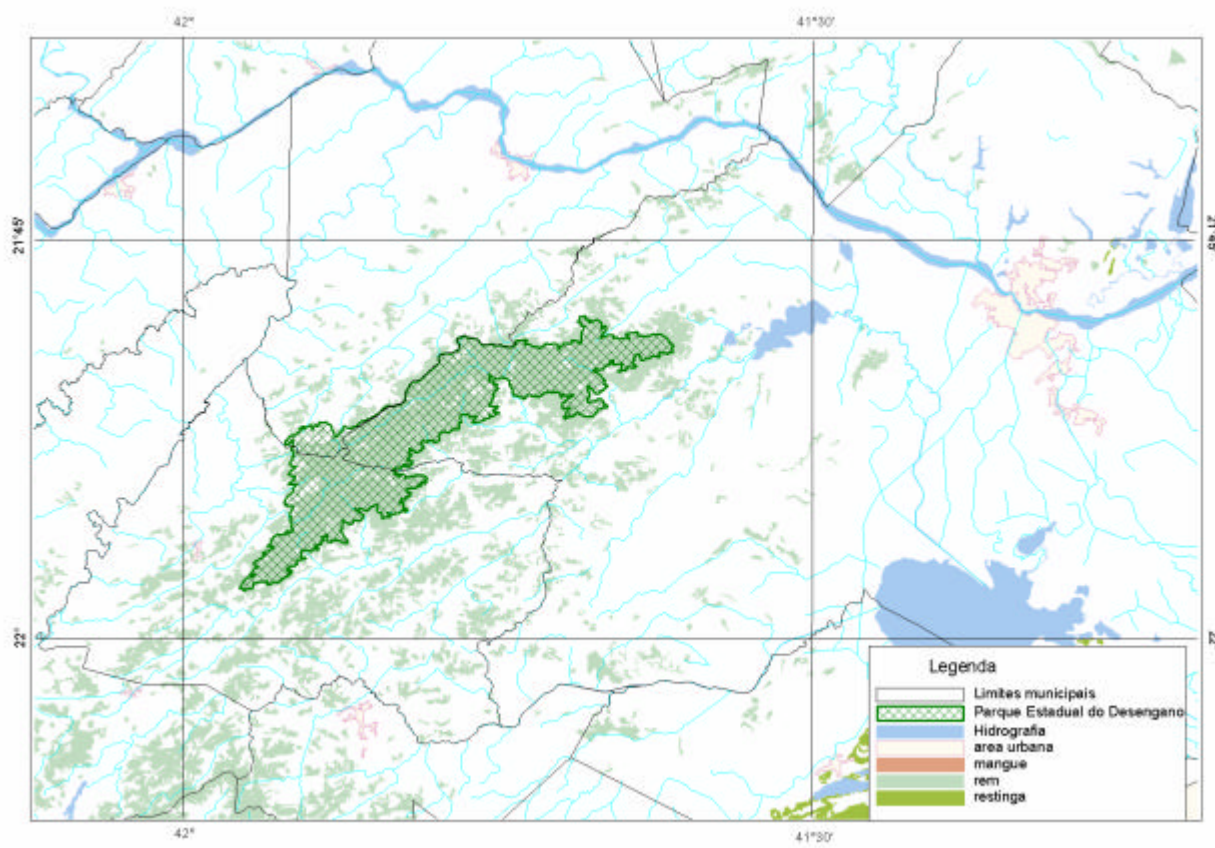


Figura 11 - Localização do PED em relação aos atuais remanescentes florestais.

Sua vegetação enquadra-se em fitofisionomias distintas (IBGE/RADAM BRASIL, 1982), Floresta Ombrófila Densa, na vertente voltada para o Atlântico, e Floresta Estacional Semidecidual, na vertente voltada para o interior do Estado.

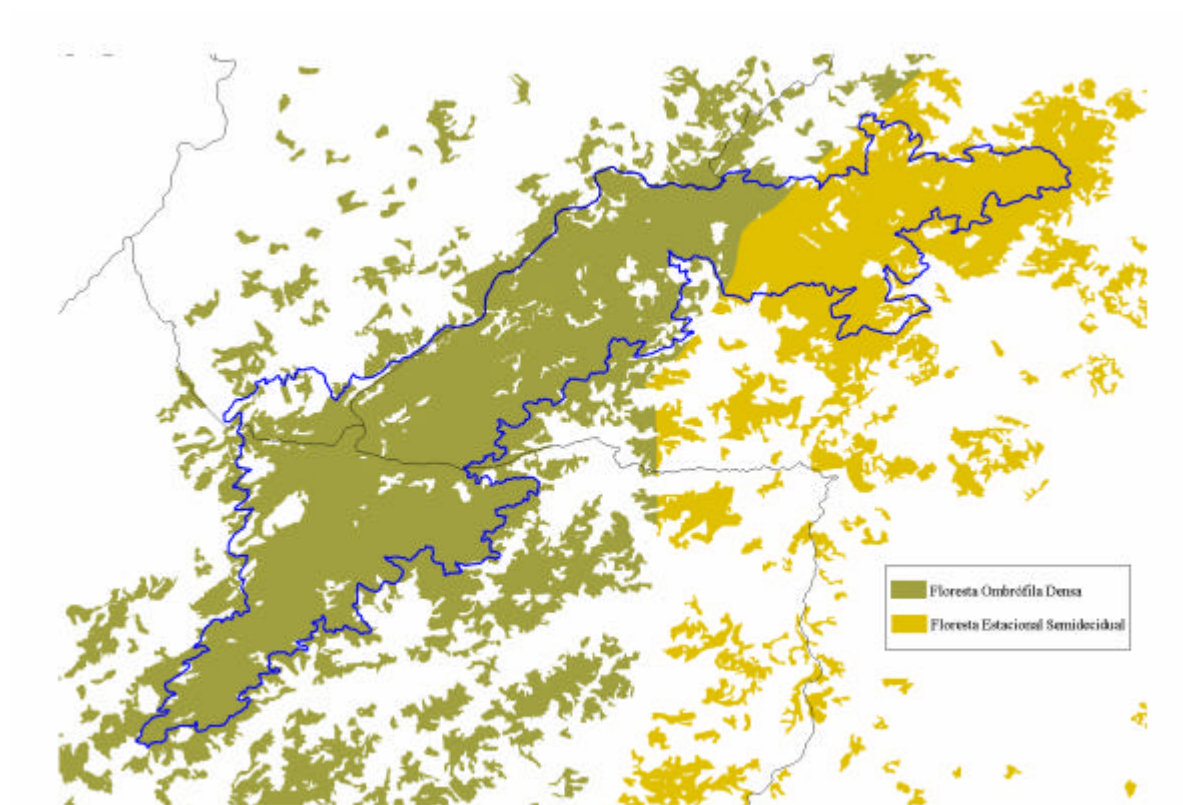
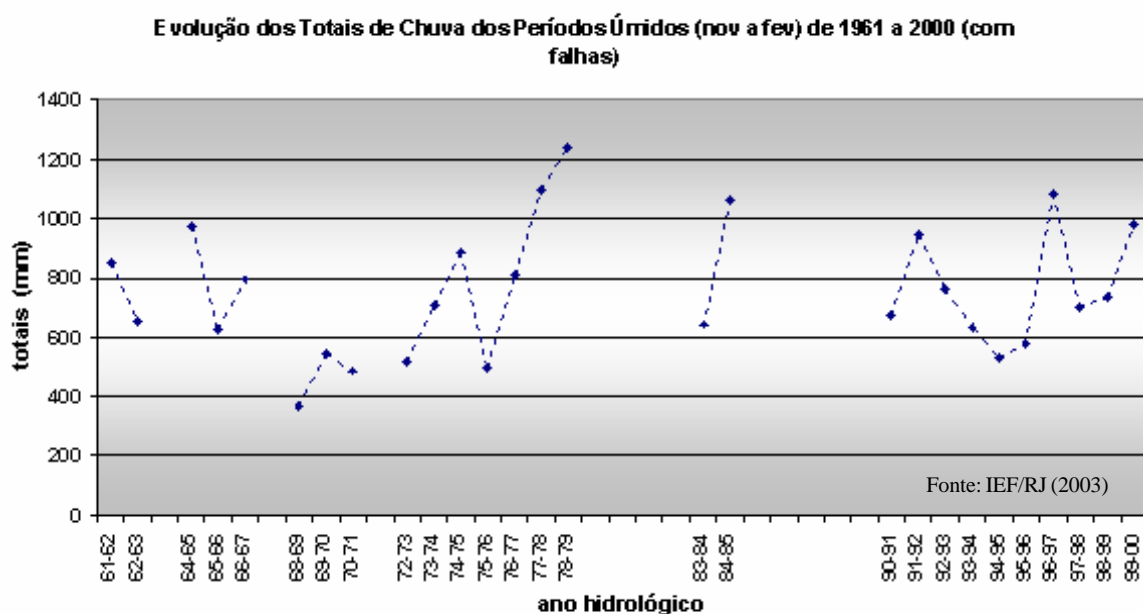


Figura 12 - Localização do PED em relação as duas fitofisionomias.

Através do projeto implantação do Parque Estadual do Desengano foi possível ainda, ter acesso aos dados climatológicos da região, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, a partir de solicitação do IEF/RJ, sendo fornecidos, mais especificamente os dados mensais de totais de chuva, média de temperaturas máximas e mínimas da estação de Santa Maria Madalena e, normais climatológicas das estações de São Fidélis, Campos, Macaé e Nova Friburgo.

Hetzel (2003) appud IEF/RJ, (2004) interpretando dados de precipitação, no Parque Estadual do Desengano e zona de entorno, com o propósito de verificar o comportamento temporal desses durante os períodos secos (maio a agosto) e úmido (novembro a fevereiro), ano a ano, totalizou os valores desses meses nos respectivos períodos, desconsiderando as falhas de observação, obtendo-se as configurações demonstradas nas **Figura 13** e **Figura 14**



Figuras 13 – Evolução dos totais de chuva dos períodos úmidos (nov a fev) de 1961 a 2000 (com falhas)

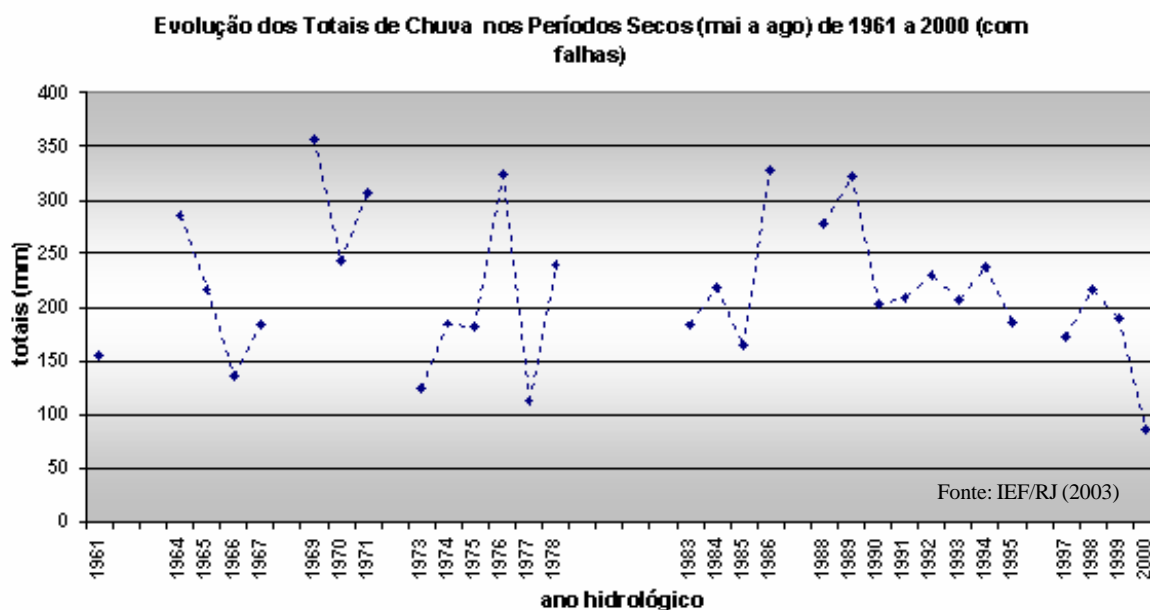


Figura 14 – Evolução dos totais de chuva dos períodos secos (mai a ago) de 1961 a 2000 (com falhas)

Pôde-se constatar que, os totais precipitados durante os períodos secos apresentam ano a ano tendência decrescente, confirmando depoimentos de alguns moradores do vale do rio Imbé (zona de entorno), a ocorrência de estiagens mais rigorosas.

Dada a grande variação entre os totais precipitados no período úmido, isto é, de novembro a março, o que era esperado em decorrência das diferentes altitudes, incidência de ventos e topografia, conclui-se que os dados observados em Santa Maria Madalena são os únicos para se avaliar quantitativamente os índices pluviométricos sobre a área do parque e zona de entorno, no período chuvoso.

Percebe-se que o ano de 2000 apresentou um déficit no total de chuvas do período seco (maio a agosto). Isso ocasionou um estresse hídrico na vegetação, interferindo na reflectância da mesma. Destacando-se ainda que, a vegetação voltada para as faces norte, nordeste e sudeste do parque é caracterizada por floresta estacional semidecidual (IBGE/RADAM BRASIL, 1982), ou seja, nesta ocorrem inúmeras espécies que, no período seco (maio a agosto), perdem parte ou até mesmo todas as folhas, numa estratégia para reduzir a perda d'água por evapotranspiração, o que pode acarretar uma falsa impressão de supressão da cobertura vegetal.

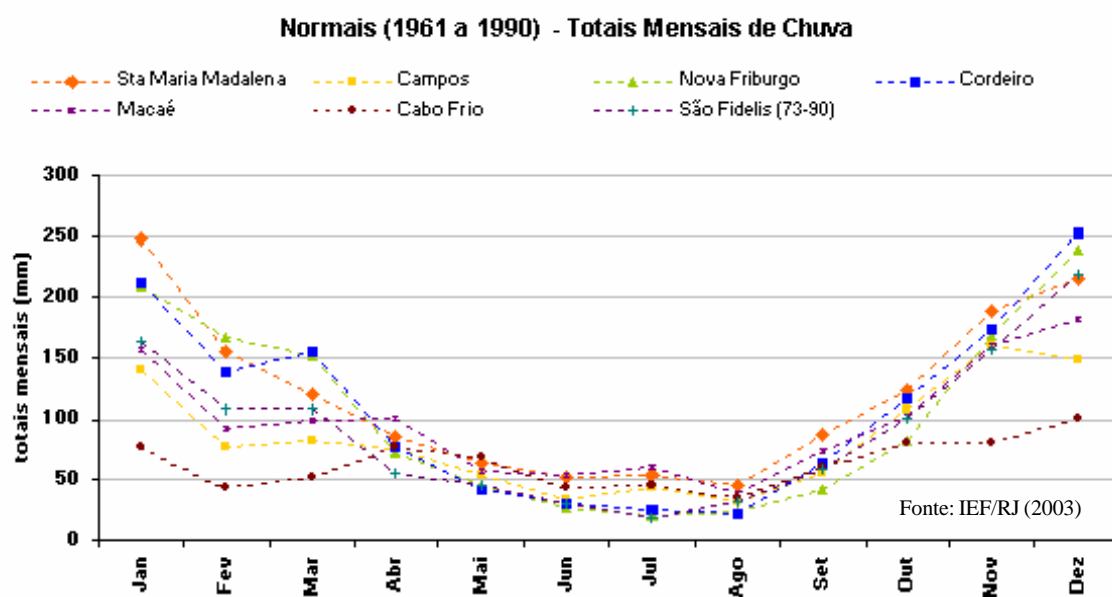


Figura 15 – Normais (1961 a 1990) – totais mensais de chuva

A seguir será descrita a aplicação da metodologia proposta no capítulo 6, à área de estudo.

8.2. Geração da Base de Dados

Para construção e manipulação da base de dados, que iria constituir o sistema de informação geográfica do PED, foram utilizados os softwares Microstation-I/Geovec, ArcGis 8.02 e ArcView 3.2.

Já para o tratamento e interpretação de imagens de satélite utilizou-se o software Erdas Imagine 8.3.1, todos rodando sobre plataforma Windows 2000.

A partir dos arquivos “raster”, das feições cartográficas das folhas IBGE, na escala 1:50.000, Renascença, Dolores de Macabu, Santa Maria Madalena, Conceição de Macabu, São Fidélis, Cambuci e Campos, separados em *layers* distintos, foi efetuada a vetorização semi-automática das mesmas. Cabe destacar que esse material foi disponibilizado pelo IBGE à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Urbano – SEMADUR/RJ, e conseqüentemente ao IEF/RJ, já georreferenciados e dentro dos padrões cartográficos de correção geométrica, definidos por aquele instituto.

Essa etapa foi desenvolvida com o software Microstation-I/Geovec, seguindo-se especificações técnicas definidas pelo IBGE/DGC/CCAR. Essas por sua vez não serão detalhadas, uma vez que o objeto do presente trabalho não é a produção de base cartográfica digital.

Posteriormente à etapa de vetorização dessas feições cartográficas, foi realizada a migração dos dados para o software ArcGis, aonde foram efetuadas as edições necessárias a uma adequada conexão dos elementos, e posterior geração de topologia dos mesmos, objetivando sua integração ao SIG desenvolvido para o projeto do PED.

Não foram efetuados trabalhos de campo específicos para o desenvolvimento do presente estudo, tendo sido efetuadas entretanto algumas visitas e sobrevôos à região para atendimento a outras demandas do IEF/RJ. Nessas ocasiões foram coletados alguns dados sobre a vegetação objetivando associar os padrões da imagem à realidade de campo. Essa carência de levantamentos não ocasionou prejuízos ao estudo uma vez que existiam ortofotos digitais, na escala 1:10.000, do ano de 2000, disponíveis para a região aonde se encontra a principal porção da vegetação da área de estudo, mais especificamente o Parque Estadual do Desengano, e que serviram como “verdade terrestre”.

8.2.1. Materiais

A seguir, são relacionados os materiais utilizados para a realização do presente estudo de caso:

- Imagens LANDSAT 7 ETM+, de 29/08/1999 e 18/10/2000 – cena 216/75;
- Bases cartográficas IBGE, escala 1:50.000;
- Fotografias aéreas p/b, escala 1:30.000, do ano de 2000 (em papel fotográfico);
- Ortofotocartas digitais e em papel, na escala 1:10.000, do ano de 2000, abrangendo a área do parque (224km²) e uma faixa de aproximadamente 1km de largura ao redor do perímetro da unidade (276km²);
- Dados climatológicos levantados pelo projeto do Parque Estadual do Desengano-PED,
- Softwares Erdas 8.3.1, Arcgis 8.02, Arcview 3.2 e I/Geovec-Microstation;

8.2.2. Escolha das Imagens

Uma vez que já existiam disponíveis no LAGIEF, imagens do satélite LANDSAT 7 ETM+, de 29/08/1999 e 18/10/2000, cena 216/75, com diferença de apenas 50 dias, e que não havia cenas com datas mais próximas e com baixa cobertura de nuvens, decidiu-se por utilizá-las.

8.2.3. Definição de Padrões

Nessa etapa, foi efetuada a associação de padrões da imagem de satélite com aqueles encontrados nas ortofotos e fotografias de campo, para subsidiar a análise e interpretação das imagens, conforme descrito no capítulo 6.

No que se refere à localização de reflorestamentos, alguns pontos GPS foram coletados em anos anteriores, facilitando a distinção de seu padrão na imagem de satélite.

A seguir são apresentados os padrões encontrados nas imagens e ortofotos:

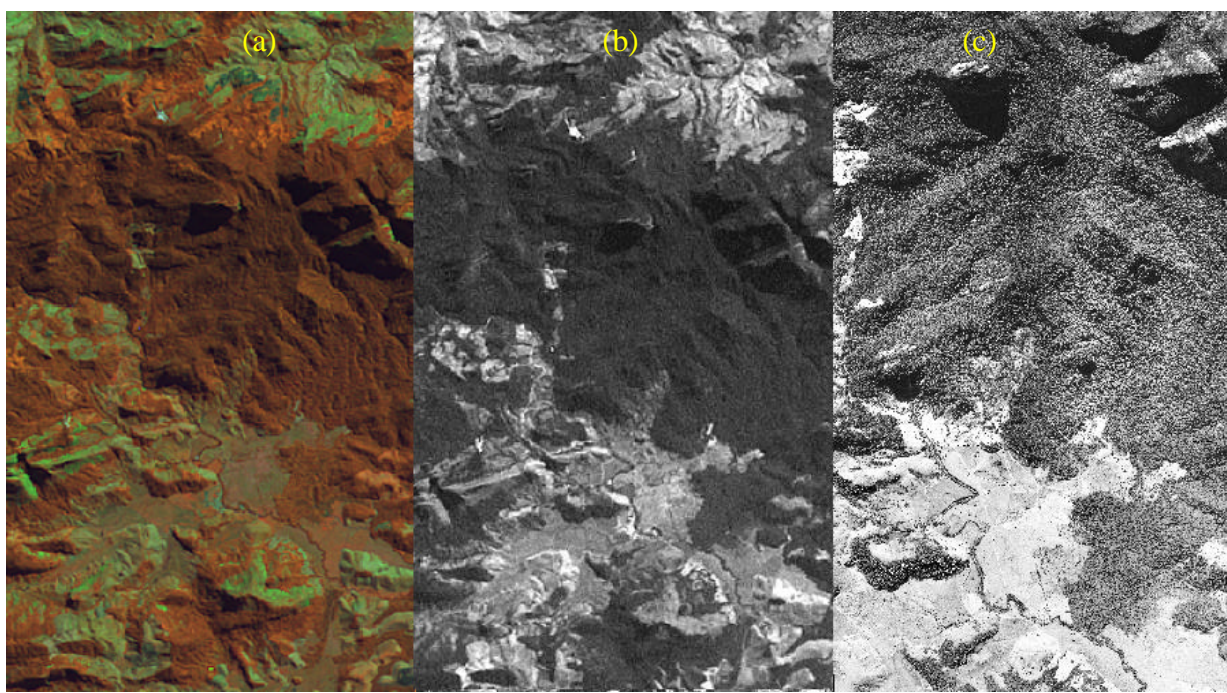


Figura 16 – Padrão de remanescente florestal em imagens de satélite LANDSAT 7 ETM+, composição colorida 453 (a), banda 3 (b), e ortofoto (c)

8.2.4. Registro das Imagens

No processo de preparo das imagens, inicialmente efetuou-se o recorte da área de estudo a partir da cena 216/75, do satélite LANDSAT7 ETM+, utilizando-se as bandas 3, 4 e 5 combinadas num único arquivo, para ambas as datas, resultando num recorte de 1703 linhas por 2304 colunas.

Em seguida, procedeu-se o registro da imagem a ser utilizada como referência para o registro daquelas a serem trabalhadas, conforme SOS Mata Atlântica e INPE (2001). Esse registro utilizou como referência à base cartográfica do IBGE, Folhas Renascença, Dorcas de Macabu, Santa Maria Madalena, Conceição de Macabu, São Fidélis, Cambuci e Campos, na escala 1:50.000. Apesar de estarem inseridas em zonas distintas, optou-se por estender a zona 24, uma vez que a área do projeto, o Parque Estadual do Desengano e uma faixa de 1km de largura ao redor de seu perímetro, estarem integralmente inseridas na mesma.

A base cartográfica utilizada para o registro das imagens, é constituída, entre outros, pelos seguintes temas: hipsografia (curvas de nível e pontos cotados), hidrografia (rios, lagos, lagoas, represas, etc), sistema viário (estradas, caminhos, trilhas) e limites municipais. Destacando-se que, preferencialmente devem ser utilizadas como referência para a coleta de

pontos de controle, feições geométricas associadas a infraestrutura viária e também as confluências de rios.

As imagens de satélite foram adquiridas junto à empresa do ramo, com nível de correção 1G e geometricamente ajustadas para a Projeção UTM, Datum COA e Zona 24.

Este nível de correção, dentre aqueles disponíveis para comercialização, é o que apresenta maior qualidade em termos de correção geométrica, apesar de sua precisão não ser compatível com a escala de trabalho adotada no presente estudo, motivo pelo qual foi realizado um registro mais preciso.

“NÍVEL DE CORREÇÃO SISTEMÁTICA "1G": é um nível de correção sistemática onde a imagem é radiométrica e geometricamente corrigidas de forma sistemática e associada a um sistema de projeção cartográfica. O sistema de projeção cartográfica pode ser UTM, ... e o Datum horizontal de referência utilizado para a correção é geralmente WGS 84. Teoricamente, a precisão geométrica e espacial de um produto 1g é de pelo menos 250 metros em áreas planas e ao nível do mar. Todavia, durante a fase de teste, as imagens analisadas apresentaram uma precisão geométrica superior a esse valor. Os algoritmos de correção modelizam a posição do satélite e a geometria do sensor através de dados que o computador de bordo grava ao imageamento. A altitude do satélite, efemérides e parâmetros de atitude do satélite,, são componentes fundamentais usados para a geração de produtos 1g e garantem a fidelidade geométrica geral da imagem 1g.” (Fonte: Engesat – 2001)

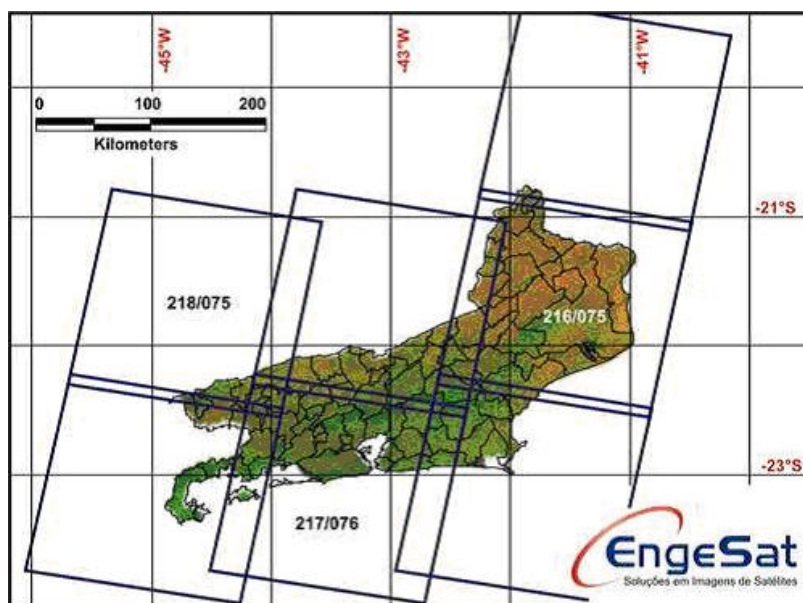


Figura 17 - Articulação das imagens LANDSAT para o RJ

Em função de apresentarem esse nível de correção, foram coletados, para ambas as imagens, 9 pontos de controle o mais homogeneamente distribuído, priorizando sempre a área de maior concentração dos remanescentes e com relevo mais acentuado. Segundo D'Alge (1997); D'Alge (2002), alguns poucos pontos (feições homólogas), bem distribuídos, podem facilmente modelar a translação que representa um erro de posicionamento. Ressalta-se que o número de pontos irá variar conforme o polinômio adotado, ou seja, 3, 6 ou 12 para os polinômios de 1°, 2° e 3° grau, respectivamente, (MARCELINO et al, 2003).

O *Erro Médio Quadrático - RMS* resultante da coleta de pontos foi de 0.8650 e 0.6509 pixel, para as imagens de 1999 e 2000 respectivamente, estando dentro dos padrões de aceitabilidade, que se referem a valores entre 0.5 e 1.0.

A partir do registro das imagens e definição dos padrões, efetuou-se a aplicação de uma máscara, excluindo-se os principais corpos hídricos e as áreas de afloramentos rochosos.

Nesse procedimento utilizou-se a banda 4 para extração dos principais corpos hídricos, uma vez que trabalha com a reflectância da REM na faixa do infravermelho próximo. Nessa banda a água apresenta extrema absorção, possibilitando a delimitação desses corpos com bastante facilidade **Figura 18**.

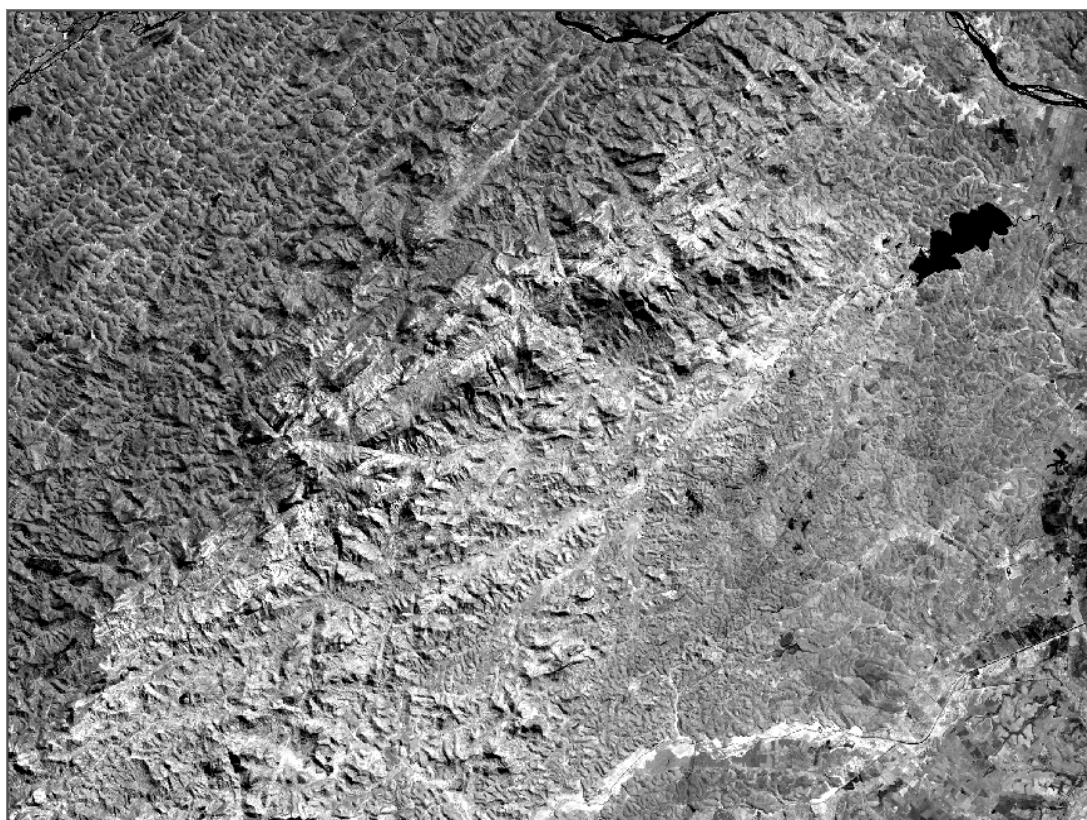
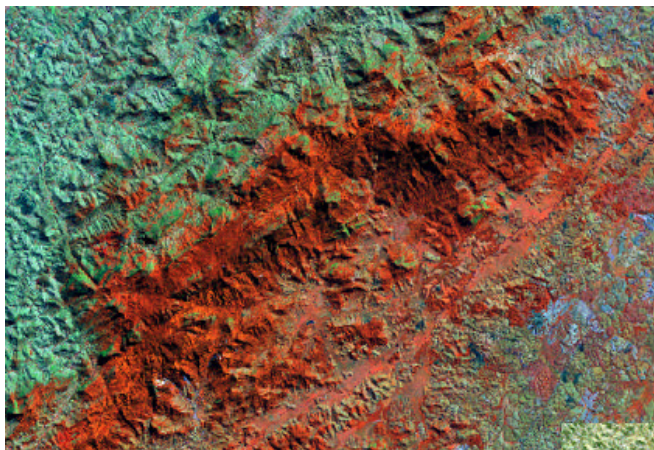


Figura 18 – Banda 4 destacando os corpos hídricos

Já para o caso dos afloramentos rochosos, optou-se por extraí-los a partir de composições coloridas 453 e 237 **Figura 19**, apoiando-se nas ortofotos na escala 1:10.000, uma vez que nesses afloramentos, é comum à ocorrência de vegetação rupestre que pode gerar confusão na interpretação das imagens LANDSAT, em função da resolução espacial das mesmas.



Composição colorida RGB 453

Composição colorida RGB 237



Figura 19 – Composição RGB 453 e 237 destacando áreas de afloramentos rochosos

8.3. Mapeamento dos Remanescentes Florestais

A partir da preparação da base, foi iniciada uma bateria de testes para que se pudesse avaliar preliminarmente a hipótese sugerida, buscando-se uma melhor separação dos remanescentes, a partir da identificação de um intervalo de ND que representasse essa feição. Isso por sua vez, irá proporcionar melhores resultados no processo de detecção das mudanças.

Num primeiro teste, buscando-se identificar o intervalo de ND dos pixels correspondentes à classe remanescentes, na imagem do ano de 2000, fez-se uma análise do histograma da banda 3, onde foi possível destacar os valores entre 34 e 45 **Figura 20**

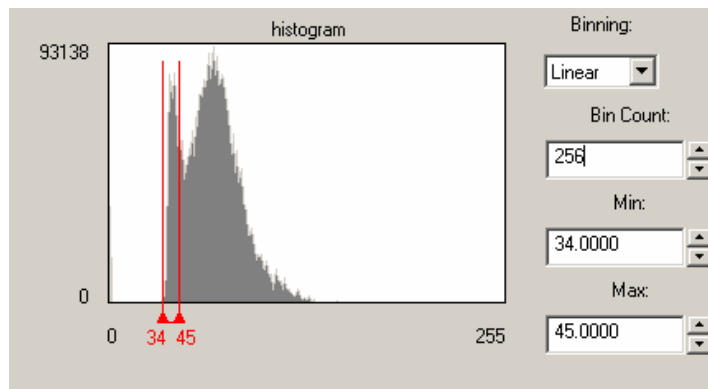


Figura 20 – Histograma da banda 3, assinalando o intervalo referente à classe *remanescentes florestais* no ano de 2000

Num segundo teste, foi feita a coleta de amostras para o estabelecimento de um arquivo de assinaturas. O editor de assinaturas do Erdas, através das funções *Statistics* e *Histogram*, nos permite visualizar, tanto os valores de máximo e mínimo de ND, quanto a sua distribuição ao longo desse intervalo **Figura 21**.

A primeira função, apresenta uma tabela com a distribuição dos valores de ND, da qual utilizaram-se os valores máximo e mínimo para estabelecer, preliminarmente, o intervalo de ND correspondente à classe remanescentes em cada amostra.

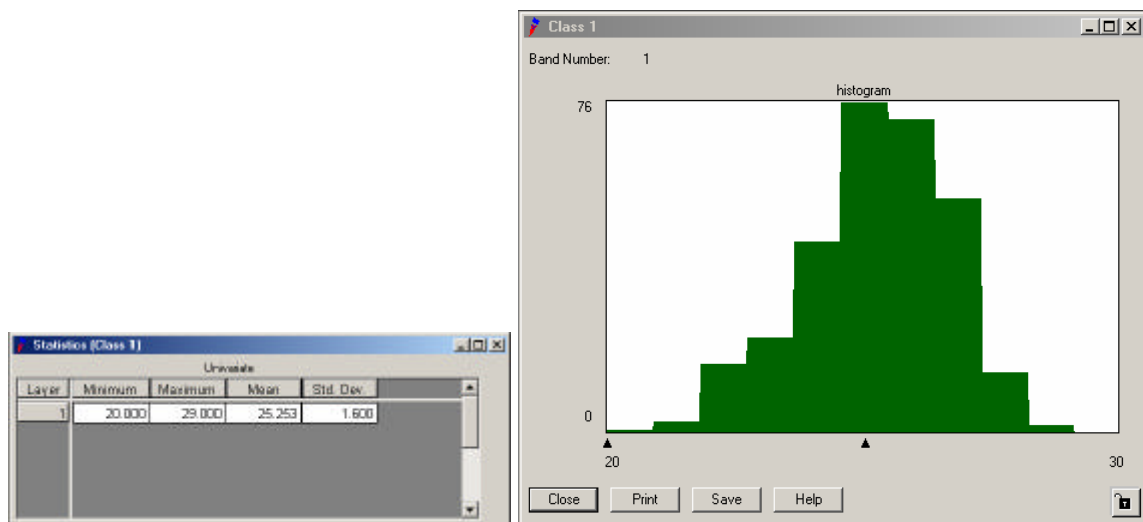


Figura 21 – Tabela com valores de ND, e histograma, apresentando respectivamente, os valores de Máximo e Mínimo, e a distribuição dos valores de ND referentes à classe *remanescentes florestais* no ano de 1999

Já a segunda função, apresenta o histograma com a distribuição desse intervalo na amostra, possibilitando identificar os valores com maior representação na mesma, subsidiando assim a definição mais precisa do intervalo de representação dos remanescentes.

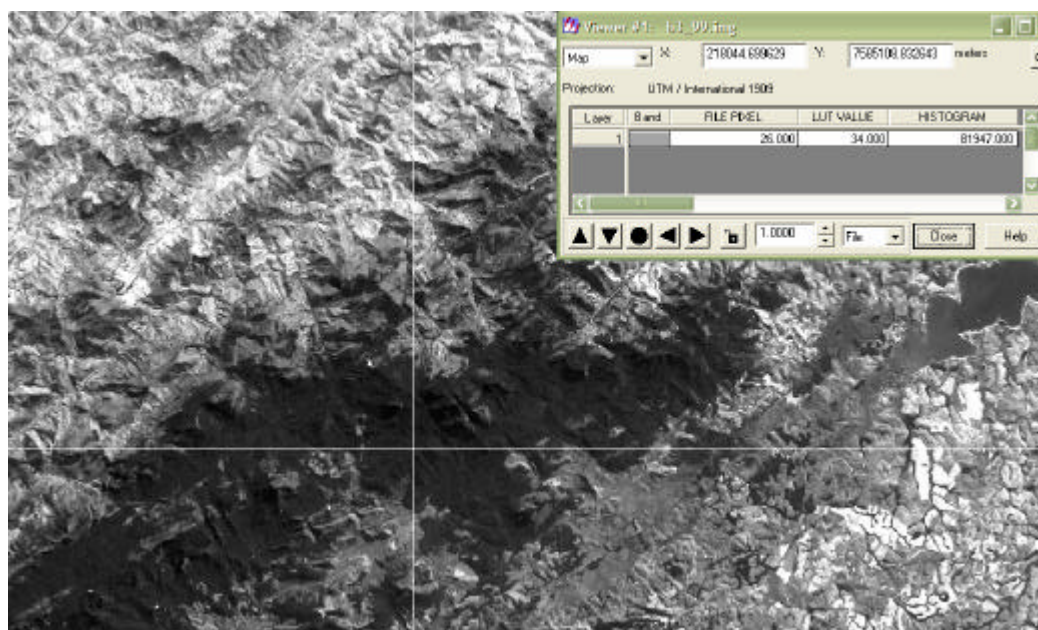


Figura 22 – Funcionalidade da ferramenta *Inquire Cursor*, na prospecção de valores de ND da banda 3, referente ao ano de 1999.

Num terceiro teste, foi realizada a identificação desse intervalo utilizando-se a ferramenta *Inquire Cursor*, disponível no *menu Utility* da *View* **Figura 22**. Essa ferramenta, após clicar-se com o cursor sobre um pixel, habilita uma caixa de diálogo onde aparece o valor do ND, assim como a coordenada geográfica do mesmo. Faz-se então uma prospecção na imagem, no caso da banda 3, sobre a área mais escura, face à baixa reflectância apresentada pelo ambiente florestal na faixa do vermelho, buscando-se identificar os valores máximo e mínimo de ND, estabelecendo-se preliminarmente o intervalo desejado.

Por fim, concluiu-se que, o método utilizado no segundo teste, combinado com o do terceiro teste, apresentava resultados bastante satisfatórios, já que esse permitia um refinamento dos resultados daquele.

No processo de seleção dos valores do intervalo de interesse, utilizou-se um recurso do Erdas, onde é possível, através da tabela de atributos da imagem, associar uma cor a esses valores. No caso, foi utilizada a cor verde, sendo gerada uma imagem classificada contendo as classes *remanescentes* e *não remanescentes*.

Em seguida, utilizou-se a ferramenta *Swipe*, do Erdas, onde, a partir de duas imagens sobrepostas é possível simular o movimento de uma “cortina” abrindo e fechando, visualizando-se a imagem classificada e em seguida a composição colorida 453.

Efetuiu-se então uma varredura em toda a área, possibilitando assim a confirmação da classe a qual pertence aquele pixel ou conjunto de pixels, identificando-se a ocorrência de pixels referentes à classe *remanescente* que não foram contemplados na separação, assim como os pixels representantes da classe *não remanescente*, que foram incluídos erroneamente naquela classe.

Com a finalidade de aprimorar o processo de separação dos remanescentes, fez-se ainda a comparação com as fotografias aéreas, principalmente nas áreas aonde a composição colorida 453 não permitia uma clara identificação desses remanescentes.

Finalizado esse processamento, foram geradas duas imagens, para os anos de 1999 e 2000, **figura 23** e **figura 24** respectivamente, contendo apenas dois valores de ND cada uma, referentes às classes *remanescentes* e *não remanescentes*.

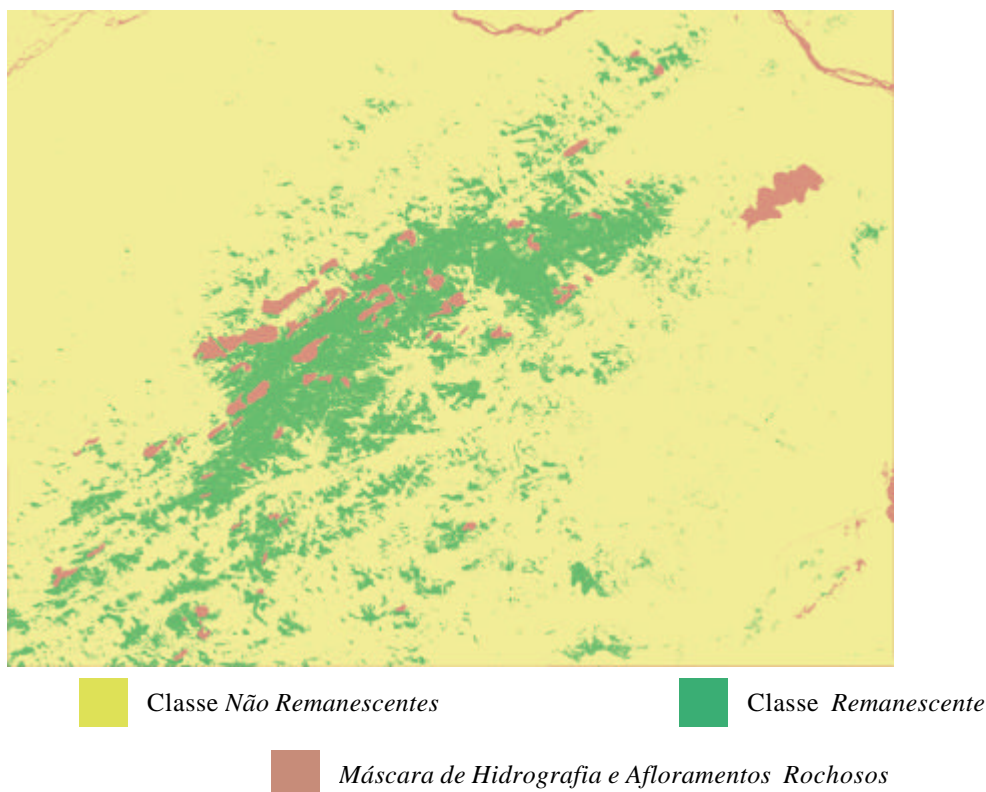


Figura 23 – Mapa de remanescentes florestais gerado a partir da aplicação do método proposto, referente ao ano de 1999

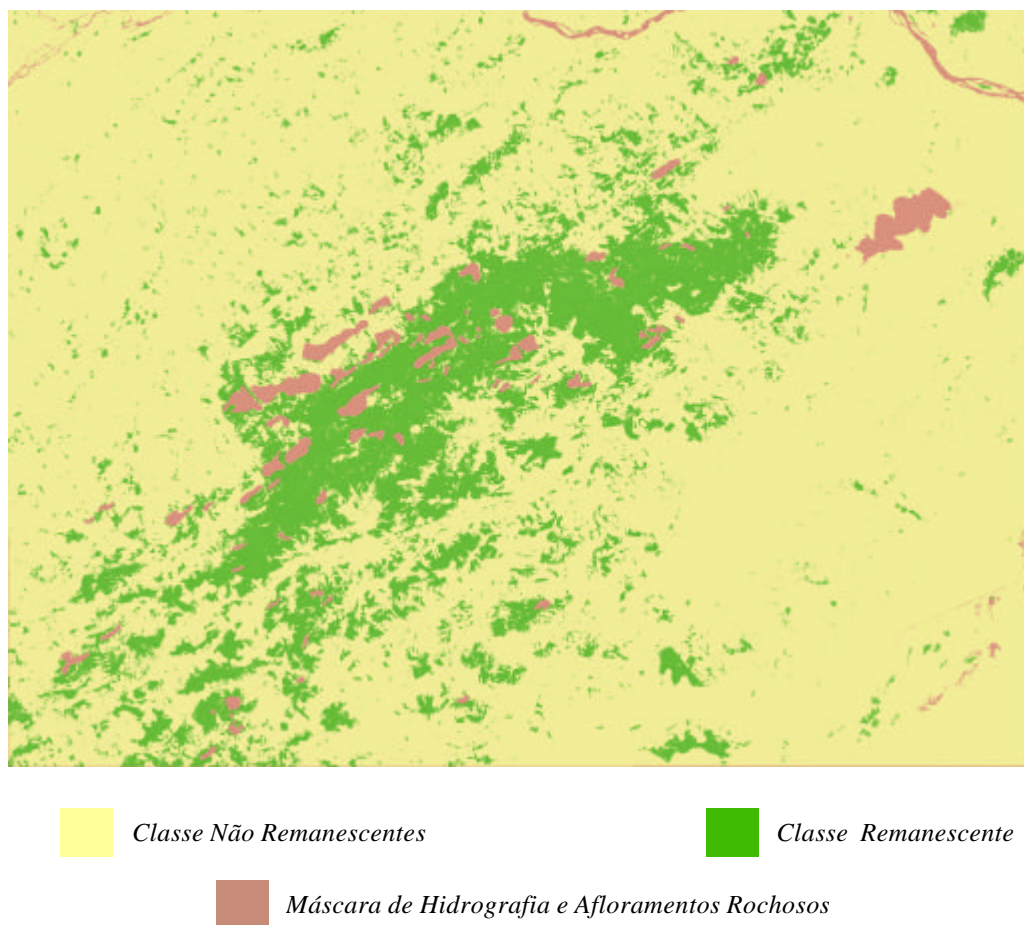


Figura 24 - Mapa de remanescentes florestais gerado a partir da aplicação do método proposto, referente ao ano de 2000

Como descrito anteriormente, os valores de cada classe para ambos os períodos foi, respectivamente:

- Ano de 1999:
 - Classe *remanescente* – 1,
 - Classe não remanescente - 3.
- Ano de 2000:
 - Classe *remanescente* – 1,
 - Classe não remanescente - 2.

Esse procedimento mostrado acima visa, otimizar o tempo de processamento, em função do tamanho reduzido dos arquivos a serem processados, assim como, preparar os arquivos para a etapa de detecção de mudanças.

8.3.1. Aferição do Mapeamento dos Remanescentes Florestais

Inicialmente foi efetuada a sobreposição do arquivo vetorial referente ao mapeamento da vegetação, gerado a partir da interpretação das ortofotos, na escala 1:10.000, com as imagens geradas pelo método proposto. Destaca-se, que ocorreu em boa parte da área, uma grande semelhança entre esses mapeamentos, respeitadas obviamente as diferenças decorrentes das escalas distintas, **Figura 25**.

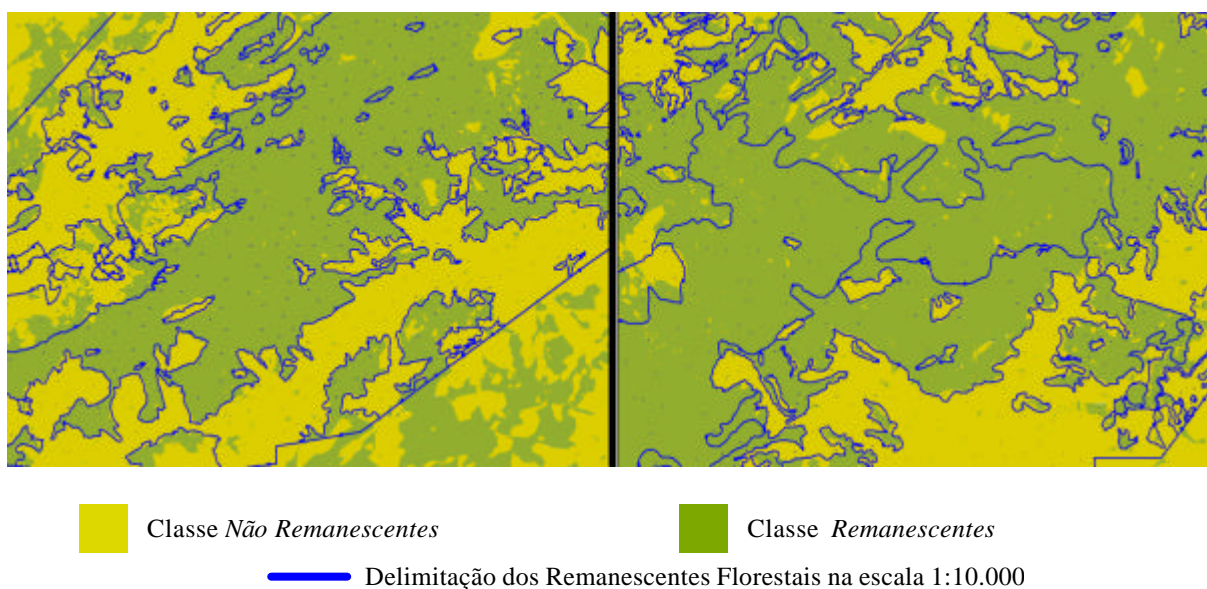


Figura 25 – Arquivo vetorial na escala 1:10.000 sobreposto à imagem gerada no presente estudo

Efetuuou-se ainda a sobreposição do mapeamento produzido a partir do método aqui proposto, com o mapeamento realizado pela Fundação SOS Mata Atlântica e INPE, para o ano de 2000, a partir de interpretação visual, **Figura 26**. Percebe-se que, nas áreas referentes aos remanescentes florestais, há grande coincidência entre os dois mapeamentos, não apenas na abrangência mais também na sua forma.

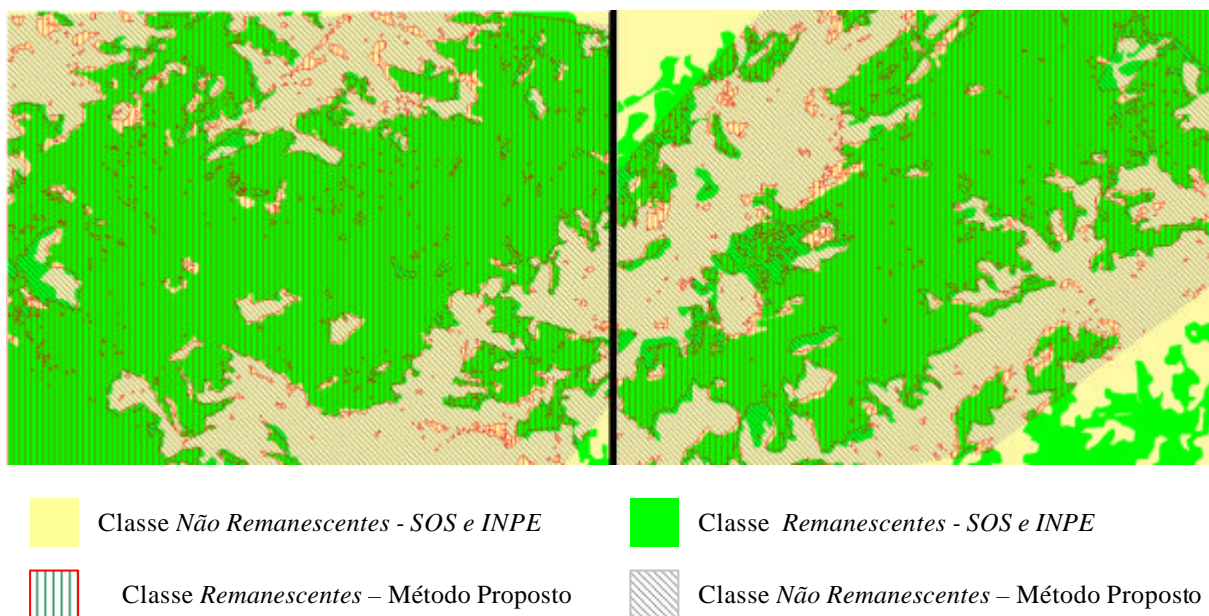


Figura 26 – Arquivo vetorial produzido pela SOS Mata Atlântica e INPE, na escala 1:50.000, sobreposto à imagem gerada no presente estudo, também na escala 1:50.000

Nessa etapa, foi calculado o Índice *Kappa* para que se obtivesse o grau de exatidão do mapeamento dos remanescentes florestais.

Para a determinação do grau de confiabilidade do mapeamento adotou-se um percentual de exatidão de 85% e um intervalo de confiança de 5%, obtendo-se uma malha de amostragem de 204 pontos, para ambos os períodos **Figura 27** e **Figura 28**.

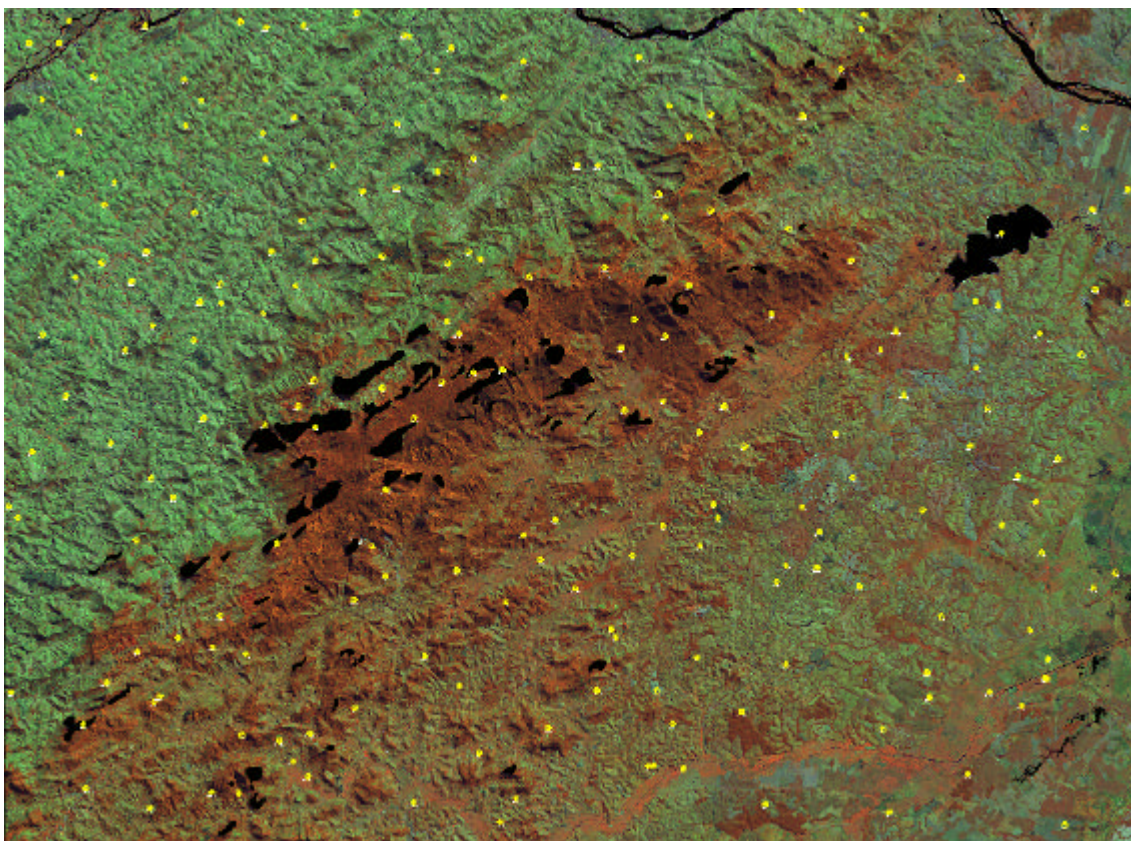


Figura 27 – Malha de amostragem sobreposta à imagem de 1999

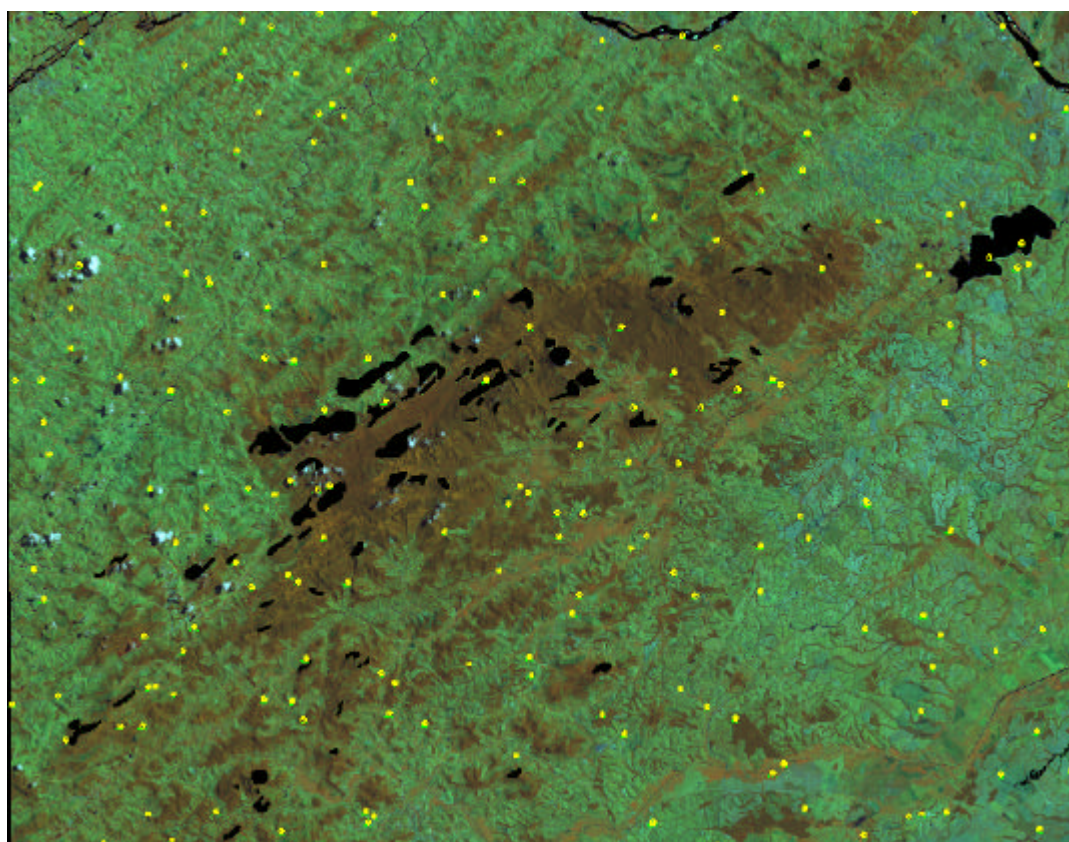


Figura 28 – Malha de amostragem sobreposta à imagem de 2000

A partir desta, efetuou-se a aferição de toda a malha de amostragem, comparando-se a imagem classificada com uma composição colorida 453, para os anos de 1999 e 2000, tendo sido obtidos os seguintes resultados:

Tabela 1 – Resultado da acurácia total, para ambas as classes (*remanescentes* e *não remanescentes*), contemplando toda a área de estudo, referente ao ano de 1999.

Classe	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
NÃO CLASSIFICADO	0	0	0	---	---
REMANESCENTE	29	29	28	96.55%	96.55%
NÃO REMANESCENTE	175	175	174	99.43%	99.43%
TOTAL	204	204	202	---	---

OVERALL CLASSIFICATION ACCURACY = 99.02%

Tabela 2 – Resultado do Índice *Kappa*, para ambas as classes (*remanescentes* e *não remanescentes*), contemplando toda a área de estudo, para o ano de 1999.

Classe	<i>Kappa</i>
NÃO CLASSIFICADO	0.0000
REMANESCENTE	0.9598
NÃO REMANESCENTE	0.9598

OVERALL KAPPA STATISTICS = 0.9598

Tabela 3 – Resultado da acurácia total, para ambas as classes (*remanescentes* e *não remanescentes*), contemplando toda a área de estudo, referente ao ano de 2000.

Classe	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy
NÃO CLASSIFICADO	6	0	0	---	---
REMANESCENTE	50	32	30	60.00%	93.75%
NÃO REMANESCENTE	148	172	146	98.65%	84.88%
TOTAL	204	204	176	---	---

OVERALL CLASSIFICATION ACCURACY = 86.27%

Tabela 4 – Resultado do Índice *Kappa*, para ambas as classes (*remanescentes* e *não remanescentes*), contemplando toda a área de estudo, para o ano de 2000.

Classe	<i>Kappa</i>
NÃO CLASSIFICADO	0.0000
REMANESCENTE	0.9172
NÃO REMANESCENTE	0.4493

OVERALL *KAPPA* STATISTICS = 0.6077

Do total de 204 pontos definidos para a malha de amostragem, em 1999, 12 pontos (5,9% do total), estavam localizados na borda da feição mapeada, não estando claramente definidos, podendo ser descartados ou substituídos.

Já em 2000, 27 pontos (13% do total), se encontravam na mesma situação.

Entretanto, era preciso manter o tamanho da malha de amostragem para que fossem respeitados os critérios anteriormente definidos para a exatidão do mapeamento.

Optou-se então, por calcular, em ambos os períodos, o Índice *Kappa* para três hipóteses distintas, a saber:

Hipótese 1 - exatidão do mapeamento, incluindo pontos de dúvida, localizados nas bordas da feição mapeada;

Hipótese 2 - exatidão do mapeamento, excluindo os pontos de dúvida, localizados nas bordas da feição mapeada; e

Hipótese 3 - exatidão do mapeamento, substituindo os pontos de dúvida, localizados nas bordas da feição mapeada.

Tabela 5 – Resultado do Índice *Kappa*, por classe (*remanescentes e não remanescentes*), e o Índice *Kappa* total para ambas as classes, contemplando as três hipóteses, para toda a área de estudo, no ano de 1999.

<i>Kappa</i> por classe	Hipótese 1(*)	Hipótese 2(*)	Hipótese 3(*)
REMANESCENTE	0.9598	1.0000	1.0000
NÃO REMANESCENTE	0.9598	1.0000	1.0000
<i>KAPPA</i> TOTAL	0.9598	1.0000	1.0000

Tabela 6 – Resultado do Índice *Kappa*, por classe (*remanescentes e não remanescentes*), e o Índice *Kappa* total para ambas as classes, contemplando as três hipóteses, para toda a área de estudo, no ano de 2000.

<i>Kappa</i> por classe	Hipótese 1(*)	Hipótese 2(*)	Hipótese 3(*)
REMANESCENTE	0.9172	0.9135	0.9214
NÃO REMANESCENTE	0.4493	0.8086	0.7962
<i>KAPPA</i> TOTAL	0.6077	0.8579	0.8542

Todas as hipóteses, referentes ao ano de 1999, apresentaram uma excelente acurácia, tanto para as classes individualmente, quanto para as classes combinadas.

No caso da hipótese 1, percebe-se claramente que, os pontos de amostragem localizados nas bordas das feições mapeadas, interferiam nos valores de *Kappa*. A retirada dos mesmos, não poderia apresentar outro comportamento, senão a elevação dos valores. Isso é explicado pelo fato de que, muitas vezes a classe de referência não coincidia com a classe atribuída pelo método aplicado.

Por sua vez, os novos pontos gerados na hipótese 3, para a substituição daqueles, apresentavam-se integralmente inseridos nas feições mapeadas, e portanto corretamente classificados, o que acabou por não interferir significativamente nos valores estabelecidos pela hipótese 2. Entretanto, garantiu o atendimento das premissas estabelecidas para a exatidão do mapeamento.

As hipóteses referentes ao ano de 2000, apresentaram valores de *Kappa* total, satisfatórios para o mapeamento como um todo, principalmente no caso das hipóteses 2 e 3. Entretanto, a hipótese 1, apresentou valores muito baixos para a classe *não remanescente*, resultando numa acurácia total muito abaixo dos 85% estabelecidos para uma boa consistência e confiabilidade do mapeamento.

Esses baixos valores atingidos nessa 1ª hipótese, indicam que a classe *não remanescente* resultante da classificação não coincidia com essa mesma classe na imagem de referência, no caso a composição colorida 453.

Por sua vez, a classe *remanescente*, em todas as hipóteses apresentou resultados acima de 91%, ou seja, colocando uma boa margem acima dos 85% estabelecidos.

Novamente, pôde-se comprovar a interferência dos pontos de amostragem, localizados nas bordas das feições mapeadas, uma vez que a exclusão desses, assim como a sua substituição, elevou os valores de *KAPPA*.

8.4. Detecção de Mudanças

Nessa etapa, foi efetuada a adição das duas imagens através da função *Operator*, disponível na ferramenta *Interpreter-Utilities* do Erdas.

A imagem resultante **Figura 29** apresentou, conforme descrito no capítulo 6, apenas quatro valores de ND, *a saber*:

- 2 - para a classe *remanescente* que não sofreu alteração, cor verde,
- 3 - para a classe *remanescente* que passou para a classe *não remanescente*, cor vermelha,
- 4 - para a classe *não remanescente* que passou para a classe *remanescente* e, cor azul,
- 5 - para a classe *não remanescente* que não sofreu alteração, cor amarela.

O que permitiu distinguir não apenas as alterações, mas também, se houve perda ou ganho de vegetação florestal.

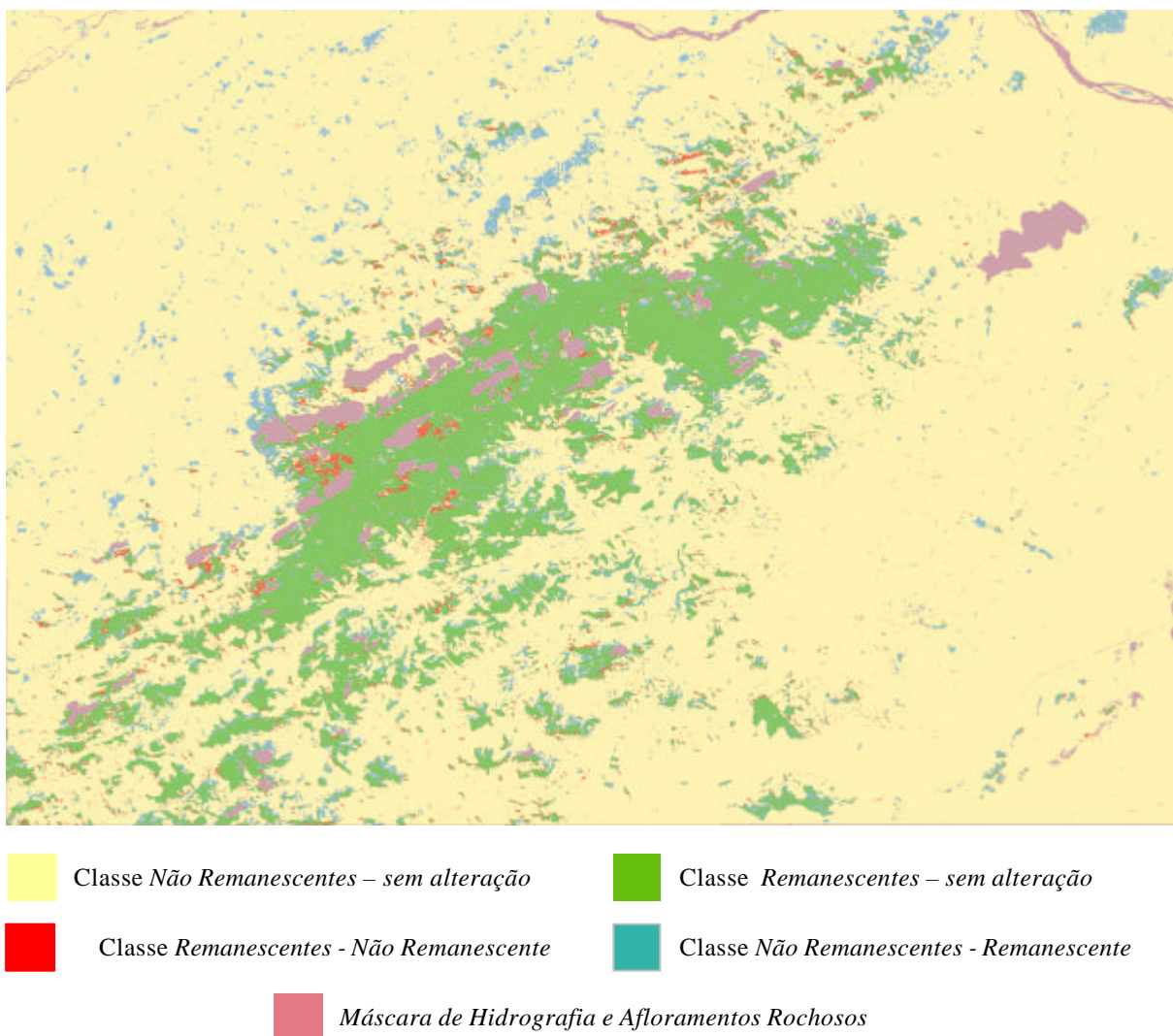


Figura 29 – Imagem resultante da adição das imagens classificadas dos anos de 1999 e 2000

Essa imagem mostra claramente problemas resultantes do processo de registro da imagem, ocasionando a ocorrência de grande quantidade de pixels que aparecem formando uma “borda” ao redor de algumas manchas de remanescentes, **Figura 30**. Na parte central da imagem aparecem ainda umas grandes manchas na cor vermelha que a princípio foram classificadas como alterações, entretanto referem-se a nuvens ocorridas durante a passagem de 2000, **Figura 31**.

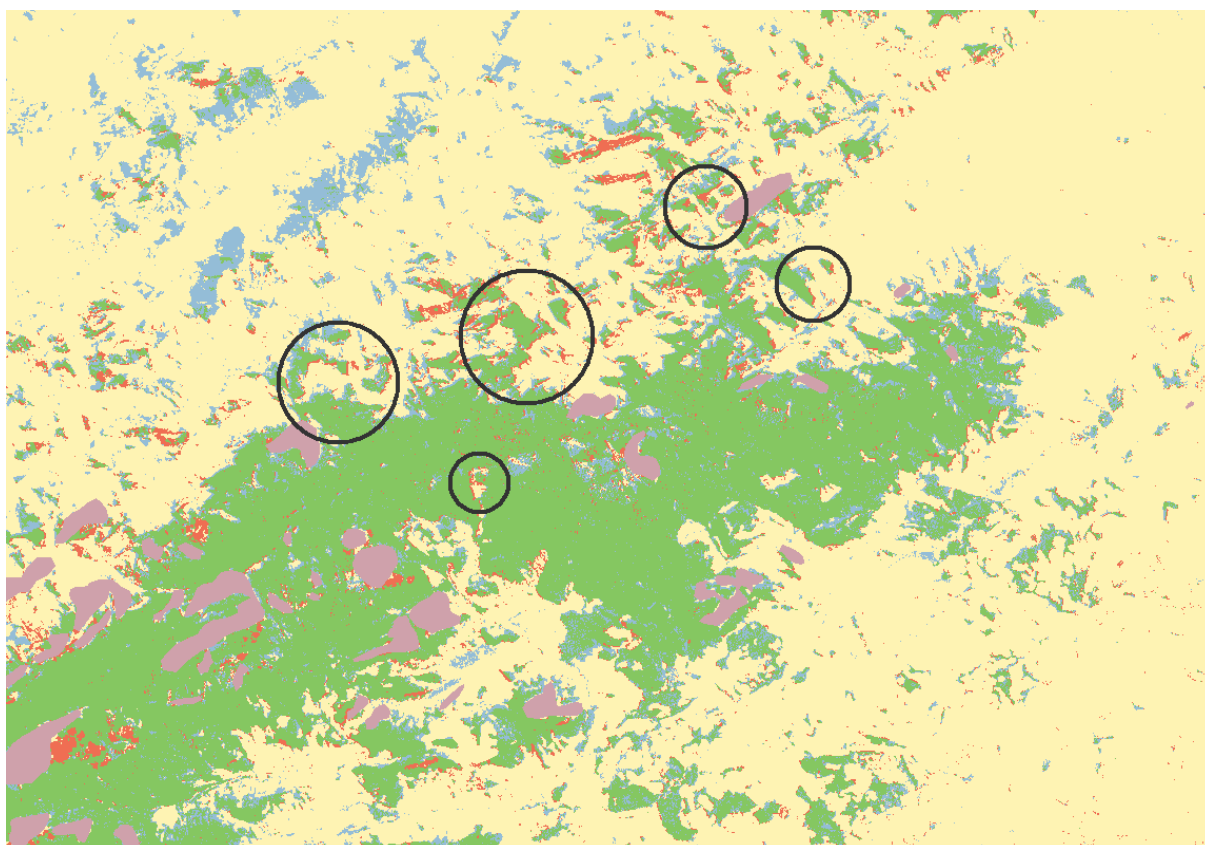


Figura 30 – Efeito do deslocamento entre as imagens classificadas

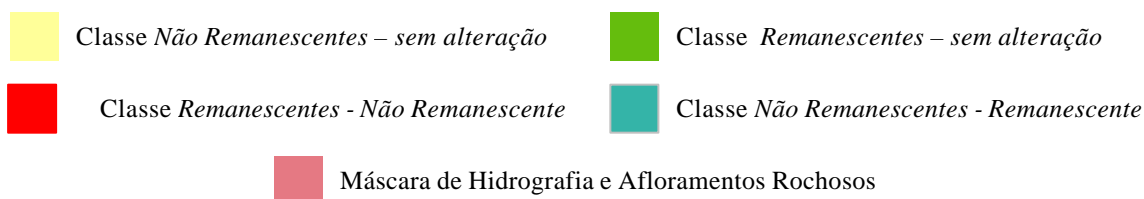
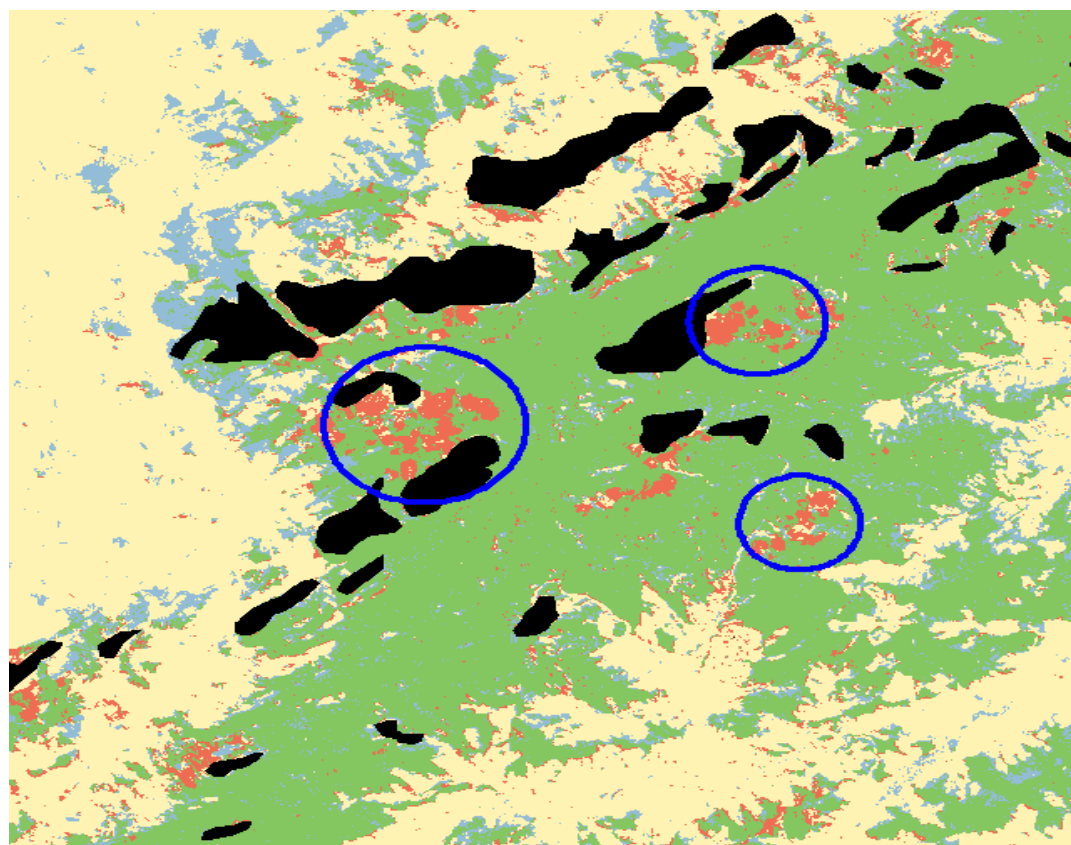


Figura 31 - Manchas indicando falsa perda de vegetação, resultante da interferência de nuvens em 2000.

Da mesma forma que na etapa de mapeamento dos remanescentes, foi realizada a comparação com a composição colorida 453, e com as ortofotos, principalmente nas áreas aonde aquela não permitia uma clara identificação desses remanescentes.

A avaliação do processo de detecção contou ainda com o apoio de fotografias panorâmicas, registradas durante sobrevôo de helicóptero, em agosto de 2000, caracterizando as formações florestais situadas na vertente atlântica do parque e na área de entorno.

No caso das queimadas, na sua grande maioria eram em áreas de pastagem, não aparecendo no mapeamento dos remanescentes florestais, e conseqüentemente no mapeamento resultante

da detecção de mudanças, o que, preliminarmente, demonstra a eficácia do método aqui proposto para o mapeamento dos remanescentes florestais.

8.4.1. Aferição da Detecção de Mudanças:

Da mesma forma que na etapa de mapeamento, utilizou-se o Índice *Kappa* para estabelecer o grau de exatidão da detecção de mudanças, seguindo-se os mesmos percentuais definidos na mesma.

Os resultados obtidos são apresentados a seguir:

Tabela 7 – Resultado da acurácia total, referente à detecção de mudanças, para ambas as classes (*remanescentes e não remanescentes*), contemplando toda a área de estudo.

Classe de alteração	Reference totals	Classified totals	Number correct	Producers accuracy	Users Accuracy
Não classificado	0	0	0	---	---
R – R	35	27	27	77.14%	100.00%
R – NR	1	2	0	0.00%	0.00%
NR – R	6	8	3	50.00%	37.50%
NR – NR	162	167	160	98.77%	95.81%
Total	204	204	190		

Overall classification accuracy = 93.14%

Tabela 8 – Resultado do Índice *Kappa*, referente à detecção de mudanças, para ambas as classes (*remanescentes e não remanescentes*), contemplando toda a área de estudo.

Classe	<i>Kappa</i>
Não classificado	0.0000
R – R	1.0000
R – NR	-0.0049
NR – R	0.3561
NR – NR	0.7964

Overall *Kappa* statistics = 0.7895

Do total de 204 pontos definidos para a malha de amostragem, 33 pontos (16.2% do total), estavam localizados na borda da feição mapeada, podendo também ser descartados ou substituídos.

Aplicou-se, então as hipóteses avaliadas na etapa de aferição do mapeamento de remanescentes florestais, conforme apresentado a seguir:

Tabela 9 – Resultado do Índice *Kappa*, por classe (*remanescentes e não remanescentes*), e o Índice *Kappa* total, referente à detecção de mudanças, para ambas as classes, contemplando as três hipóteses, para toda a área de estudo.

<i>Kappa</i> por classe	Hipótese 1(*)	Hipótese 2(*)	Hipótese 3(*)
Não classificado	0.0000	0.0000	0.0000
R – R	1.0000	1.0000	1.0000
R – NR	-0.0049	0.0000	0.0000
NR – R	0.3561	0.0000	0.0000
NR – NR	0.7964	1.0000	0.9586
<i>Kappa</i> total	0.7895	0.9527	0.9384

Novamente percebe-se que, os pontos de amostragem, localizados nas bordas das feições mapeadas, definitivamente interferem nos valores de *Kappa*. A retiradas dos mesmos, assim como a sua substituição, resultou no aumento desses valores.

É importante observar que as classes que representam alterações nos remanescentes, não apresentaram bons resultados. Isto se deve provavelmente ao fato dos pontos de amostragem estarem claramente inseridos, tanto na classe *remanescentes*, quanto na classe *não remanescentes*. O que por sua vez, garantiu ótimos valores de *Kappa* para as áreas que não sofreram alteração, apresentando valores superiores a 93%.

Cabe lembrar que não ocorreram alterações significativas no período avaliado, apesar de terem sido identificadas algumas pequenas áreas de desmatamento durante sobrevôo em agosto de 2000.

8.5. Análise dos Resultados e Considerações

O presente item, busca complementar as análises já iniciadas em cada uma das etapas do estudo de caso anteriormente apresentadas.

Algumas observações referentes à etapa do mapeamento merecem destaque, em face dos bons resultados apresentados.

Pode-se destacar a semelhança de delimitação entre os remanescentes florestais gerados no presente estudo, na escala 1:50.000, e a delimitação desses, gerados a partir da restituição aerofotogramétrica na escala 1:10.000.

Da mesma forma, destaca-se a semelhança com a delimitação dos remanescentes florestais extraídos por interpretação visual, por SOS Mata Atlântica e INPE (2002), na escala 1:50.000.

Possivelmente, o fato de se ter estabelecido a não aplicação de qualquer correção radiométrica às imagens trabalhadas, tenha propiciado o aparecimento de uma grande quantidade de pixels isolados ou pequenos agrupamentos desses, tanto na etapa de mapeamento dos remanescentes, quanto na etapa de detecção de mudanças, dando à imagem um aspecto “salpicado”, **Figura 32**.

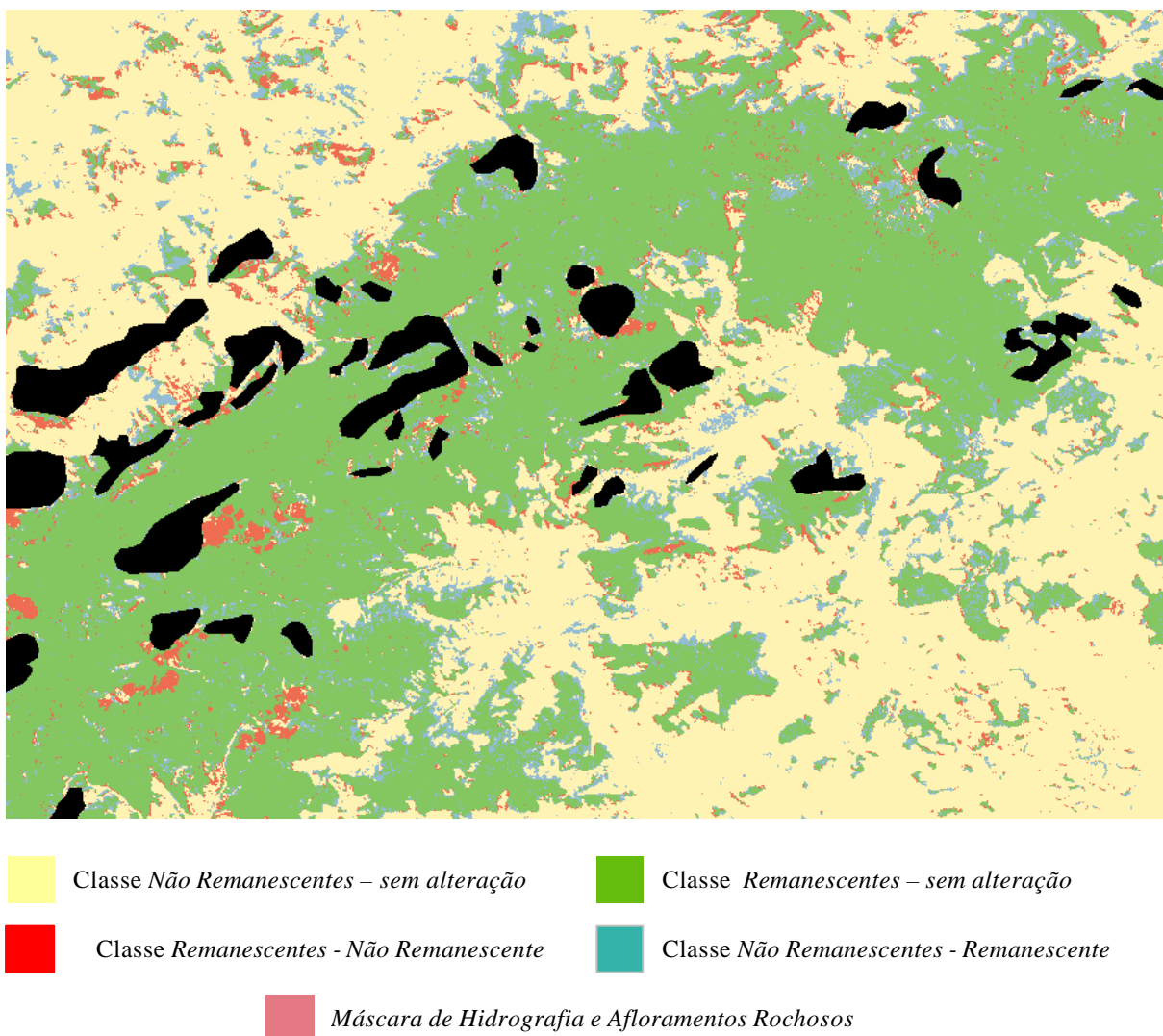


Figura 32 - Efeito de "salpicamento" resultante da grande quantidade de pixels isolados ou em pequenos agrupamentos.

Uma alternativa para minimizar os efeitos desse “salpicamento”, seria a exclusão de áreas inferiores a 1 hectare, que equivalem a uma máscara de aproximadamente 3x4 pixels, ou ainda a sua incorporação à classe vizinha predominante, visto não terem representação gráfica significativa na escala 1:50.000, proposta neste estudo.

Entretanto, entendeu-se que a aplicação desse procedimento só seria indicada, após a eliminação dos efeitos decorrentes do registro das imagens. Assim como a aplicação de uma correção radiométrica, conforme sugerido por Chavez (1996) e Caetano (2002).

Os valores de índice *Kappa* alcançados na etapa de mapeamento dos *remanescentes* de 1999 e 2000, respectivamente 0,9598 e 0,9172, demonstram eficácia no método proposto, para a separação dos remanescentes florestais.

No que se refere à etapa de detecção de mudanças nos remanescentes florestais, atribui-se a problemas no processo de registro da imagem, a ocorrência de grande quantidade de pixels que aparecem formando uma “borda” ao redor de algumas manchas de remanescentes, mais especificamente em áreas de relevo.

Esse problema poderia estar associado ainda a sombra produzida pelo relevo no ano de 1999, em função do menor ângulo de incidência solar, quando comparado à imagem de 2000, **Figura 33**. A diferença de 50 dias entre as passagens do satélite, entre os meses de agosto e outubro, que coincidem com o período de transição entre os pontos de maior ângulo de incidência solar (verão) e de menor ângulo de incidência solar (inverno) durante o ano, pode ser responsável pelo aparecimento de sombra num intervalo de tempo relativamente pequeno.

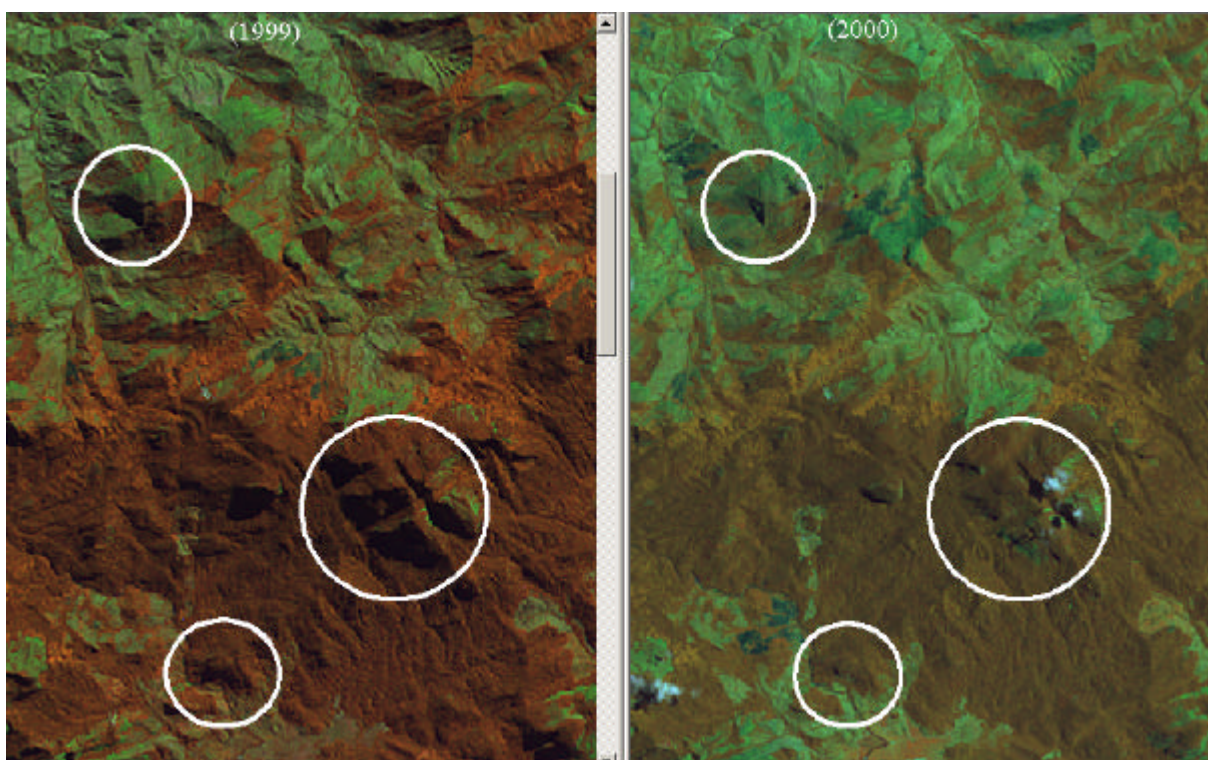


Figura 33 - Imagens LANDSAT dos anos de 1999 e 2000, destacando-se a ocorrência de áreas de sombra na primeira

Em relação às áreas atingidas por queimadas, no ano de 2000, cabe destacar que, na sua grande maioria, representavam áreas de pastagem no ano de 1999, apresentando portanto

valores de ND fora do intervalo referente à classe *remanescentes*, e portanto não sendo contemplada na etapa de mapeamento. Conseqüentemente essas áreas não aparecem na etapa de detecção de mudanças.

Entretanto, o valor do Índice *Kappa* para a etapa de detecção de mudanças nos remanescentes florestais, apresentou o valor de 0,7895, ficando abaixo dos 85% de exatidão, estabelecido para o presente estudo.

Como a proposta é avaliar os métodos de mapeamento de remanescentes florestais e de detecção de mudanças nesses, de forma simplificada e otimizada, novamente não se efetuou qualquer edição pós-classificação. Uma alternativa para eliminar esse efeito “salpicado”, seria a aplicação de um filtro *Majority* com uma máscara de 3x3, entretanto isso acarretaria algumas generalizações que necessitam ser avaliadas, evitando-se assim a perda na qualidade da informação gerada pelo mapeamento.

9. Conclusões

Embora preliminares, os resultados obtidos fazem parte da evolução de uma metodologia ainda em fase inicial de experimentação, necessitando de um refinamento e de uma avaliação mais exaustiva, onde sejam contempladas outras áreas de remanescentes do Estado do Rio de Janeiro para, numa segunda etapa, avaliar a sua eficiência..

Entretanto, o estudo aqui desenvolvido mostrou-se promissor no atendimento aos objetivos propostos para o mapeamento dos remanescentes florestais de Mata Atlântica, na área objeto do estudo, apresentando melhores resultados do que na etapa de detecção de mudanças, etapa necessária para a consolidação do monitoramento..

A semelhança entre a delimitação da vegetação florestal encontrada no arquivo vetorial resultante da fotointerpretação na escala 1:10.000, e àqueles gerados pelo método de separação dos remanescentes florestais a partir da banda 3, na escala 1:50.000, demonstra que esse pode ser um caminho viável para atingir o objetivo principal proposto nesse estudo.

Da mesma forma, os remanescentes florestais extraídos por interpretação visual, por SOS Mata Atlântica e INPE (2002), também apresentam grande semelhança em vários trechos da área mapeada.

Quanto à questão específica dos problemas gerados na etapa de registro das imagens, deve-se avaliar futuramente a utilização de imagens sem qualquer tipo de correção geométrica, assim como o aumento do número de pontos de controle, buscando-se um melhor ajuste para esse registro.

A partir de problemas ocorridos, na etapa de mapeamento dos remanescentes florestais, e conseqüentemente na detecção de mudanças, decorrentes de interferências atmosféricas, ou mesmo de características fisiológicas da vegetação decorrentes da sazonalidade, que geram um efeito de “salpicamento” nas imagens classificadas, sugere-se a aplicação de um ajuste radiométrico mais rigoroso entre as imagens, o que certamente produzirá melhores resultados.

Sugere-se ainda a exclusão de áreas com tamanho inferior a 1 hectare. Essas representam uma máscara de aproximadamente 3x4 pixels, o que, na escala 1:50.000 sugerida para o mapeamento, não tem representatividade gráfica.

A possibilidade de se realizar o mapeamento e monitoramento da vegetação natural, de forma simplificada, sem demandar profundos conhecimentos na área de sensoriamento remoto, ou mesmo na manipulação de softwares especializados e de custo elevado, apresenta-se como um instrumento eficiente.

A utilização desse método por técnicos de boa parte das prefeituras municipais localizadas fora dos grandes centros urbanos, pode ser um grande subsídio não apenas ao monitoramento da cobertura vegetal natural, mas também para o planejamento e controle do processo de gestão territorial, garantindo dessa forma um desenvolvimento mais coerente e apropriado.

Paralelamente ao desenvolvimento do presente trabalho, ocorreram problemas de imageamento com o satélite LANDSAT7 ETM+, o que nos leva a sugerir que a metodologia aqui proposta deva ser testada com imagens geradas por outros satélites.

Dentre esses, temos o satélite CBERS 2, que em vista de suas semelhanças de resolução espacial e espectral, com o satélite LANDSAT 7 ETM+, por não apresentarem custos de aquisição, e ainda por contribuírem para o aprimoramento da tecnologia nacional, aparece como uma alternativa bastante promissora.

O mapeamento da vegetação através da utilização de imagens de satélite vem evoluindo bastante ao longo dos últimos anos, entretanto ainda existem limitações no processamento automático, necessitando-se ainda de um interprete que conheça o comportamento natural e espectral do alvo objeto do mapeamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, MAURÍCIO. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.
- BRITES, R.S.; SOARES,V.P.; RIBEIRO, C.A.A.S. Efeitos da Estratégia de Amostragem na Exatidão Reportada pelo Índice de Kappa na Classificação de Imagens Orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Salvador, 1996. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 1996. Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1908/col/sid.inpe.br/banon/2001/03.14.09.08.12>>. Acesso em: novembro de 2002.
- BRASIL. Decreto nº 750 de 10 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre a exploração e a supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica e dá outras providências.
- BRASIL. Resolução / CONAMA nº 10/BR de 01 de outubro de 1993. Estabelece parâmetros básicos para análise dos estágios de sucessão da Mata Atlântica. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, DF, 09 outubro 1993.
- BRASIL. Resolução / CONAMA nº 006/BR de 04 de maio de 1994. Estabelece parâmetros básicos para análise dos estágios de sucessão da Mata Atlântica para o Estado do Rio de Janeiro.
- CAETANO, Mário; SANTOS, Teresa; GONÇALVES, Luísa. Cartografia de Ocupação do Solo com Imagens de Satélite: estado da arte. Disponível em: <www.igeo.pt/Igeo/portugues/Novidades_eventos/eventos/esig2002/p092.pdf>. Acesso em: Janeiro de 2003.
- CARVALHO, VITOR CELSO de; LINHARES, C. A.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; GLERIANI, J. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; OLIVEIRA, R. C.; AFFONSO, A. G. SANTOS, J. R. dos. Estado da Arte nas Aplicações de Sensoriamento Remoto para o Estudo da Vegetação: Análise por Blocos de Países e Linhas de Pesquisa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10.,2001. Foz do Iguaçu. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2001. p.1553-1562. CD ROM.

- CONSERVATION INTERNACIONAL. **Corredor de Biodiversidade da Serra do Mar.** Disponível em: http://www.conservation.org.br/onde/mata_atlantica/index.php?id=55>. Acesso em: Dezembro de 2004.
- CONSERVATION INTERNACIONAL. **Formações Vegetais da Mata Atlântica no Brasil.** Disponível em: <http://www.biodiversityhotspots.org/xp/hotspots>>. Acesso em Setembro de 2003.
- D´ALGE, J.C.L. **Atualização Cartográfica por Imagem de Satélite: Considerações teóricas e possibilidades de Implementação.** São José dos Campos, 1997. Texto Técnico – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), maio 1997. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~julio/consult1.pdf>>. Acesso em Dezembro de 2004.
- FEITOSA, R.Q.; AMARAL, J.F.M. do; SANTOS R.O.V. dos; VIEIRA, H.; SIMÕES, M. Método Híbrido para Classificação de Imagens Multitemporais. In: *WORKSHOP DE AVALIAÇÃO DE PROJETO PROTEM-CC*, RIO DE JANEIRO, 2001. Disponível em: http://www.geomatica.eng.uerj.br/ecoaair/docs/artigo_ecoaair.pdf>; Acesso em: janeiro de 2003.
- FREITAS, SIMONE RODRIGUES; CRUZ, CARLA BERNADETE MADUREIRA. Índices de Vegetação na Caracterização de Fragmentos de Mata Atlântica no Estado do RJ. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 11., 2003, Belo Horizonte. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2003. p.2737-2744. CD ROM.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF/RJ. **Monitoramento por Sensoriamento Remoto dos Ecossistemas Naturais da Bacia Contribuinte à Baía de Guanabara e sua Área de Influência.** Rio de Janeiro, RJ, 2001.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF/RJ. **Mapa da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica.** Rio de Janeiro, RJ, 1994. Escala 1:450.000.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF/RJ. **Proposta de Plano Diretor do Parque Estadual do Desengano.** Rio de Janeiro, 2003. FUNDAÇÃO INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – IEF/RJ. Disponível em: www.ief.rj.gov.br >. Acesso em: novembro de 2004.

- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica – Período 1995-2000**. São Paulo, 2002. Relatório Final

- GURGEL HELEN da COSTA. **Variabilidade Espacial e Temporal do NDVI sobre o Brasil e suas Conexões com o Clima**. 2000. 114 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências. Rio de Janeiro, 1992. Nº 1, 92p.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Projeto RADAM Brasil**. Rio de Janeiro, 1982.

- KONRATH, JÚLIO; BITENCOURT, MARISA; MANTOVANI, WALDIR. Avaliação Rápida de Ecossistemas Florestais utilizando Imagens de Satélite, Geoprocessamento e Campo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11.,2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p.2771-2778. CD ROM.

- LORENA, RODRIGO BORREGO; SANTOS, J. R. DOS; SHIMABUKURO, YOSIO EDEMIR. Evolução do Uso da Terra em Porção da Amazônia Ocidental (Acre), através da Técnica de Detecção de Mudanças. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11.,2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p.673-680. CD ROM.

- MALDONADO, FRANCISCO DARÍO; CARVALHO VITOR CELSO DE. Indicador de Degradação a Escala Sub-regional para Detecção de Mudanças na Cobertura das Terras com Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11.,2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p.1353-1356. CD ROM.

- MANFRINATO, W.; VIANA, V. Sequestro de carbono como parte de uma estratégia de desenvolvimento sustentável de bacias hidrográficas. Apresentado ao Workshop Mudanças Climáticas Globais e Agropecuária Brasileira, Jaguariúna, 1999.

- MARCELINO, EMERSON VIEIRA; FORMAGGIO, ANTONIO ROBERTO; D'ÁLGE, JÚLIO CESAR LIMA. A Influência do Datum Planimétrico no Registro de Imagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11.,2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p.333-340. CD ROM.

- MARTINS, I. C. de M.; SOARES, V. P.; SILVA, ELIAS; BRITES, R. S. Caracterização ambiental de fragmentos florestais naturais - "ipucas"- no Município de Lagoa da Confusão, Tocantins. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10.,2001. Foz do Iguaçu. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2001. p.1657-1664. CD ROM.

- MARTINELLI G. et ali. Pedra do Desengano In: **Campos de Altitude**. Rio de Janeiro: Index, 1989. p.152-153.

- MASCARO, SOFIA DE AMORIM; FERREIRA, MARCOS CÉSAR. Análise Comparativa entre Algoritmos de Classificação Digital de Imagem com base na Exatidão do Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo: Um Exemplo na Área de Influência do Reservatório de Jurumirim – SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11.,2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p.1365-1372. CD ROM.

- MAS, J.F., 1997, **Monitoring Land-cover Changes in the Términos Lagoon Region, Mexico: A Comparison of Change Detection Techniques**, Proceeding of the IV International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments. Orlando, Florida, 17-19 March 1997, Vol. I, pp 159-167.

- MONTESI, EDUARDO CUNHA; BATISTA, GETULIO TEIXEIRA. Avaliação de Dados do Satélite CBERS para o Mapeamento de Produção Agrícola ao Nível Municipal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11.,2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p.181-188. CD ROM.

- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. São José dos Campos/SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001.

- MORELLI, A. F. et al; PINHEIRO JÚNIOR, O. J.; SILVA, I. O. da. O uso integrado das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento na avaliação da dinâmica da cobertura vegetal natural e do uso da terra no município de Barrolândia - BA. In: GIS Brasil 99 - V Congresso e Feira para usuários de Geoprocessamento da América Latina, 1999, Salvador. **Anais ...** Curitiba: Fator Gis, 1999.
- MYERS, N. Threatened biotas: hotspot in tropical forest. *The Environmentalist* 8: 178 – 208 p. 1988. Disponível em: <www.conservation.org.br/como/index.php?id=8>. Acesso em: setembro de 2004.
- NOGUEIRA. S.A.J.; FERREIRA, L.G.; SANO, E.E.; SHIMABUKURO, Y.E. Avaliação de Métodos de *Change Detection* para o Monitoramento Sistemático do Cerrado Goiano. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11.,2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p.2831-2834. CD ROM.
- NOVO, E.M.L. de M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 1989, 307p.
- OLIVEIRA, CARLOS ALBERTO DE ÁVILA; MOURA, VALDIR; CHIARANDA, ROBERTO. Avaliação Multitemporal da Dinâmica do Desmatamento da Cobertura Vegetal no Município de Nova Monte Verde – MT. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11.,2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p.2845-2852. CD ROM.
- OLIVEIRA, YEDA M. MALHEIROS DE; BURLEY, JEFFERY; DAWSON, TERENCE PACKER, MIKE. Detecção de Mudanças em Área com Floresta Ombrófila Mista (Floresta De Araucária) - Abordagem Usando Imagens Diferença. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11.,2003, Belo Horizonte. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2003. p.2835-2843. CD ROM.
- PACHECO, ADMILSON PENHA. Sensoriamento Remoto Multitemporal aplicado à Cobertura vegetal de Mata Atlântica. *Geodésia on line*.2001. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/2001/01/ap.htm>>; Acesso em: Janeiro de 2003.