



**COPPE/UFRJ**

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUAPI-  
MIRIM UTILIZANDO TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO  
ORIENTADA A OBJETO DE IMAGENS IKONOS II DOS ANOS 2006 E 2008

Adriano de Oliveira Vasconcelos

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador(es): Luiz Landau

Fernando Pellon de Miranda

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2009

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUAPI-  
MIRIM UTILIZANDO TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO  
ORIENTADA A OBJETO DE IMAGENS IKONOS II DOS ANOS 2006 E 2008

Adriano de Oliveira Vasconcelos

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CÍVIL.

Aprovada por:

---

Prof. Luiz Landau, D.Sc.

---

Prof. Fernando Pellon de Miranda, Ph.D.

---

Prof. Otto Corrêa Rotunno Filho, Ph.D.

---

Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL  
DEZEMBRO DE 2009

Vasconcelos, Adriano de Oliveira

Análise Multitemporal da Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim Utilizando Técnicas de Segmentação e Classificação Orientada a Objeto de Imagens IKONOS II dos Anos 2006 e 2008/ Adriano de Oliveira Vasconcelos. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

XIV, 152 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Luiz Landau

Fernando Pellon de Miranda

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2009.

Referencias Bibliográficas: p. 136-146.

1. Detecção de Mudanças. 2. Imagens IKONOS. 3. Segmentação Orientada a Objeto. 4. Índice de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo. I. Landau, Luiz *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.



*À minha família, com todo carinho e dedicação.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas as pessoas e instituições que me incentivaram e colaboraram durante a realização deste trabalho, com especial agradecimento:

Ao Prof. Luiz Landau, pelo acolhimento e inestimável apoio desde o início do mestrado;

A Fernando Pellon, pela sugestão do tema do trabalho, pela orientação e esclarecimentos dados durante o período de realização deste estudo;

A Carlos Beisl, pela orientação, amizade, incentivo, sugestões técnicas valiosas para conclusão do trabalho;

À Prof. Carla Madureira, pela disponibilidade e pelos esclarecimentos prestados na qualificação da dissertação;

A Pedro Walfir, pela disponibilidade e sugestões dedicadas na conclusão da pesquisa;

A Marcília, pela atenção e inestimável apoio em todos os momentos;

A Monica, sempre solícita em resolver problemas de ordem burocrática;

Aos colegas do LabSAR, Humberto, Ivo, Fábio Moreira, Enrico, Sylvia, Ana Claudia, Sarah, Mariana, Wildes; também aos colegas do LAMCE, Luiz Paulo e Manlio;

À ANP pelo apoio financeiro;

Finalmente, aos meus queridos pais, irmã e madrinha que, sem seus valorosos esforços em proporcionar uma educação de qualidade não poderia usufruir esta oportunidade acadêmica. A eles, o meu pleno reconhecimento e eterna gratidão.

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

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUAPI-  
MIRIM UTILIZANDO TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO  
ORIENTADA A OBJETO DE IMAGENS IKONOS II DOS ANOS 2006 E 2008

Adriano de Oliveira Vasconcelos

Dezembro/2009

Orientadores: Luiz Landau  
Fernando Pellon de Miranda

Programa: Engenharia Civil

A localização geográfica do COMPERJ proporcionará uma dinâmica de atividades econômicas ligadas à indústria do petróleo no entorno da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapi-Mirim, a qual protege o último remanescente de ecossistema de manguezal da Baía de Guanabara. Este novo cenário em que a APA estará inserida nos próximos anos exige monitoramento ambiental permanente afim de caracterizar sua evolução ecológica. Outro aspecto crítico é a alta sensibilidade ambiental a derrames de óleo dos manguezais, a qual torna imprescindível a elaboração detalhada da Carta de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo.

O objetivo geral deste trabalho consiste em realizar uma análise multitemporal da APA de Guapi-Mirim, através da aplicação de técnicas de segmentação e classificação orientada a objeto em imagens IKONOS II, com a finalidade de caracterizar de mudanças de uso e cobertura do solo. Para tanto, serão utilizadas duas cenas do satélite IKONOS II sobre a área de estudo, referentes aos anos de 2006 e 2008. A classificação da cobertura do solo da imagem IKONOS referentes ao ano 2008 servirá de base para detalhar o mapeamento da sensibilidade ambiental a derrames de óleo para a área de estudo.

Os resultados apontam para um estágio de regeneração do mangue e de estagnação da área urbana dentro da APA de Guapi-Mirim. O processo de deposição de sedimentos nos estuários dos rios potencializa os riscos ambientais a derrames de óleo na área de estudo.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

MULTITEMPORAL ANALYSIS OF THE GUAPI-MIRIM ENVIRONMENTAL  
PROTECTION AREA USING OBJECT-BASED SEGMENTATION AND  
CLASSIFICATION TECHNIQUES FOR 2006 AND 2008 IKONOS II IMAGES.

Adriano de Oliveira Vasconcelos

December/2009

Advisors: Luiz Landau

Fernando Pellon de Miranda

Department: Civil Engineering

The geographic location of COMPERJ will increase the dynamics of economic activities linked to the oil industry in the vicinities of the Guapi-Mirim Environmental Protection Area (EPA), which protects the last remnant of the mangrove ecosystem of the Guanabara Bay. That will embrace new scenario the EPA in the coming years, and it requires constant environmental monitoring in order to characterize the ecological evolution of the protection area. Another critical aspect is the high environmental sensitivity for oil spills in mangroves, which makes indispensable the detailed elaboration of Environmental Oil Sensitivity Maps for Oil Spills.

The objective of this research is to perform a multitemporal analysis of the Guapi-Mirim EPA, using object-based segmentation and classification techniques applied to IKONOS II images, in order to characterize changes in land use and cover types. Two scenes of the IKONOS II sensor acquired on 2006 and 2008 were chosen for the study. The land cover classification for the 2008 IKONOS image was considered the basis for detailed mapping of environmental sensitivity for oil spills in the investigated site.

Results show a regeneration stage for the mangrove and stagnation of the urban area within limits of the Guapi-Mirim EPA. The process of sediment accumulation in the estuaries of rivers increases the environmental risk for oil spills in the study area.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>CAPÍTULO 1 -INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 - MOTIVAÇÃO CIENTÍFICA.....	1
1.2 - OBJETIVOS.....	2
1.3 - JUSTIFICATIVA .....	3
1.4 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	4
1.5 - DESCRIÇÃO SUCINTA DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	7
1.5.1 <i>Definição do Problema</i> .....	7
1.5.2 <i>Revisão Bibliográfica</i> .....	7
1.5.3 <i>Aquisição das Imagens IKONOS dos anos 2006 e 2008</i> .....	8
1.5.4 <i>Base de Dados</i> .....	8
1.5.5 <i>Preparação dos Dados</i> .....	8
1.5.6 <i>Trabalho de Campo</i> .....	8
1.5.7 <i>Definição das classes</i> .....	8
1.5.8 <i>Segmentação, Classificação e Validação</i> .....	9
1.5.9 <i>Análise dos Resultados</i> .....	9
1.5.10 <i>Conclusões e Recomendações</i> .....	9
<b>CAPÍTULO 2 -ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>10</b>
2.1 - ASPECTOS GERAIS DOS MANGUEZAIS.....	10
2.1.1 <i>Terminologia</i> .....	11
2.1.2 <i>Importância dos Manguezais</i> .....	11
2.2 - MANGUEZAL DA BAÍA DE GUANABARA.....	12
2.2.1 <i>Atuais Vetores de Degradação</i> .....	13
2.2.2 <i>Criação da APA de Guapi-Mirim</i> .....	15
2.2.3 <i>Ficha Técnica da APA de Guapi-Mirim</i> .....	15
2.2.4 <i>Características da Vegetação da APA de Guapi-Mirim</i> .....	16
2.2.5 <i>Zoneamento da APA de Guapi-Mirim</i> .....	20
2.2.5.1 <i>Zona de Proteção da Vida Marinha</i> .....	20
2.2.5.2 <i>Zona de Proteção da Vida Silvestre</i> .....	20

2.2.5.3	Zona de Uso Sustentável.....	21
2.2.6	Características Hidrográficas da APA de Guapi-Mirim.....	22
2.2.7	APA de Guapi-Mirim e a Indústria do Petróleo .....	24
2.2.8	Mapeamentos Pretéritos da APA de Guapi-Mirim.....	25
<b>CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>		<b>31</b>
3.1	- SENSOR IKONOS II .....	31
3.2	- COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS DA ÁREA DE ESTUDO.....	33
3.3	- ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	35
3.4	- NOVAS CONCEPÇÕES DE INTERPRETAÇÃO .....	37
3.4.1	Interpretação de Imagens Baseada em Conhecimento.....	37
3.5	- ABORDAGEM ORIENTADA A OBJETO .....	38
3.6	- PROCEDIMENTO DE SEGMENTAÇÃO .....	39
3.6.1	Segmentação por Descontinuidade.....	39
3.6.2	Segmentação por Similaridade .....	39
3.6.3	Segmentação Multi-Resolução.....	40
3.6.3.1	Algoritmo de Segmentação Multi-Resolução.....	40
3.6.3.2	Rede Hierárquica.....	43
3.7	- CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS .....	44
3.7.1	Classificação "Pixel a Pixel" .....	44
3.7.2	Classificação Baseada em Segmentos.....	45
3.7.3	Classificação Orientada a Objetos.....	45
3.7.3.1	Sistema de Classificação Hierárquica .....	45
3.8	- ANÁLISE DO ERRO DE CLASSIFICAÇÃO.....	50
3.8.1	Matriz de Erro e Índice de Concordância Kappa.....	50
3.9	- DETECÇÃO DE MUDANÇAS EM ESCALA MULTITEMPORAL.....	53
3.10	- SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMES DE ÓLEO .....	56
<b>CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>		<b>59</b>
4.1	- MATERIAIS UTILIZADOS.....	59
4.1.1	Softwares Utilizados.....	60
4.2	- METODOLOGIA.....	60
4.3	- CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS DA ÁREA DE ESTUDO.....	62
4.3.1	Contexto da Aquisição das Imagens IKONOS .....	62
4.3.2	Recorte da Área de Estudo .....	64
4.4	- PREPARAÇÃO DOS DADOS.....	65
4.4.1	Imagens IKONOS .....	65
4.4.2	Geração das Composições Coloridas.....	65
4.4.3	Avaliação dos Dados Altimétricos.....	65

4.4.4	<i>Geração do MDE</i> .....	66
4.4.5	<i>Ortorretificação das Imagens IKONOS</i> .....	66
4.4.6	<i>Verificação dos Resultados da Ortorretificação</i> .....	68
4.5	- CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS.....	68
4.5.1	<i>Trabalho de Campo</i> .....	68
4.5.2	<i>Definição e Caracterização das Classes</i> .....	79
4.5.3	<i>Rede Semântica</i> .....	87
4.5.4	<i>Segmentação Multiresolução</i> .....	88
4.5.5	<i>Definição de Atributos</i> .....	88
4.5.6	<i>Classificação</i> .....	89
4.6	- AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO .....	89
4.7	- DETECÇÃO DE MUDANÇAS.....	91
4.8	- REFINAMENTO DA CARTA SAO DA APA DE GUAPI-MIRIM .....	91

## **CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES ..... 92**

5.1	- SEGMENTAÇÃO.....	92
5.2	- CLASSIFICAÇÃO .....	95
5.2.1	<i>Imagem IKONOS 2006</i> .....	95
5.2.2	<i>Imagem IKONOS 2008</i> .....	99
5.3	- AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO .....	107
5.4	- ANÁLISE MULTITEMPORAL.....	111
5.4.1	<i>Classe Baía de Guanabara para Plan. Intermaré Lamosa</i> .....	119
5.4.2	<i>Classe Plan. Intermaré Lamosa para Baía de Guanabara</i> .....	119
5.4.3	<i>Classe Mng Alt. com Solo Exposto para Mng Alt. com Gramíneas</i> .....	119
5.4.4	<i>Classe Mng Alt. com Solo Exposto para Mng Alt. com Invasoras</i> .....	119
5.4.5	<i>Classe Mng Alt. com Solo Exposto para Mng em Regeneração</i> .....	119
5.4.6	<i>Classe Mng Alt. com Gramíneas para Mng Alt com Solo Exposto</i> .....	120
5.4.7	<i>Classe Mng Alt. com Gramíneas para Mng Alt. com Invasoras</i> .....	120
5.4.8	<i>Classe Mng Alt. com Gramíneas para Mng em Regeneração</i> .....	120
5.4.9	<i>Classe Mng Alt. com Invasoras para Mng Alt. com Gramíneas</i> .....	120
5.4.10	<i>Classe Mng Alt. com Invasora para Mng em Regeneração</i> .....	120
5.4.11	<i>Classe Pasto Seco para Pasto Úmido</i> .....	121
5.4.12	<i>Classe Pasto Seco para Área para Uso Agrícola</i> .....	121
5.4.13	<i>Classe Pasto Seco para Solo Exposto</i> .....	121
5.4.14	<i>Classe Pasto Seco para Mangue em Regeneração</i> .....	121
5.4.15	<i>Classe Pasto Úmido para Pasto Seco</i> .....	121
5.4.16	<i>Classe Pasto Úmido para Área para Uso Agrícola</i> .....	122
5.4.17	<i>Classe Solo Exposto para Pasto Seco</i> .....	122

5.4.18	<i>Classe Mng Alt. com Gramíneas para Rede Drenagem</i> .....	122
5.4.19	<i>Classes de Mudança com Significado Inconsistente</i> .....	122
5.5	- REFINAMENTO DA CARTA SAO DA APA DE GUAPI-MIRIM .....	125
<b>CAPÍTULO 6 -CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>		<b>132</b>
<b>CAPÍTULO 7 -REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>136</b>
<b>ANEXO I – Carta SAO da Baía de Guanabara (Folha Guapimirim).....</b>		<b>140</b>
<b>ANEXO II – Carta SAO da Baía de Guanabara (Folha Itaboraí).....</b>		<b>141</b>
<b>ANEXO III – Carta SAO da Baía de Guanabara (Folha Praia da Luz).....</b>		<b>142</b>



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. ....	6
FIGURA 1.2 – FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES REFERENTE À METODOLOGIA PROPOSTA. ....	7
FIGURA 2.1 - ZONEAMENTO DA APA DE GUAPI-MIRIM. ....	21
FIGURA 2.2 - SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DRENANTES PARA A APA DE GUAPI-MIRIM. ....	23
FIGURA 2.3 - MAPA DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES E DE INSTALAÇÕES DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO NO ENTORNO DA BAÍA DE GUANABARA E DA APA DE GUAPI-MIRIM.....	25
FIGURA 2.4 - SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO, PROPOSTO POR PIRES (1993), DOS MANGUEZAIS (O TERMO ÁREA DE ESTUDO REFERE-SE AO MANGUEZAL).....	26
FIGURA 2.5 - CARTA-IMAGEM DA APA DE GUAPI-MIRIM (IMAGEM TM/LANDSAT-7 (278/76B), ADQUIRIDA EM JANEIRO DE 2000. COMPOSIÇÃO COLORIDA PRESUMIDA: 5R4G2B).....	27
FIGURA 2.6 - MAPA DE USO DO SOLO E DA COBERTURA VEGETAL DA APA DE GUAPI-MIRIM EXPOSTO NO PLANO DE MANEJO DA APA DE GUAPI-MIRIM (IBAMA & IBG, 2001). ....	28
FIGURA 2.7 - MAPEAMENTO DO USO DA TERRA EM ESCALA MACRO (1:50.000), OBTIDO POR CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DA IMAGEM CBERS, ELABORADO POR REIS (2007).....	29
FIGURA 2.8 - MAPEAMENTO DO USO DA TERRA EM ESCALA MESO (1:25.000), OBTIDO POR CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DA IMAGEM ASTER, ELABORADO POR REIS (2007).....	29
FIGURA 2.9 - MAPAS DE DIFERENÇAS DE CLASSES REGISTRADAS NOS ANOS 1996 E 2007. ....	30
FIGURA 3.1 - ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	33
FIGURA 3.2 - ASSINATURA ESPECTRAL DE UMA FOLHA VERDE, OU SEJA, SADIA.....	34
FIGURA 3.3 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DO SOLO.....	35
FIGURA 3.4 - QUADRO COMPARATIVO DOS ATRIBUTOS DE COMPACIDADE E SUAVIDADE ENTRE OBJETOS HIPOTÉTICOS. ....	43
FIGURA 3.5 - PRINCÍPIO DA REDE HIERÁRQUICA DE OBJETOS EXTRAÍDA A PARTIR DE PIXELS DA IMAGEM.....	44
FIGURA 3.6 - DIREÇÃO DE CÁLCULO DA MATRIZ DE CO-OCORRÊNCIA DE NÍVEIS DE CINZA (GLCM). ....	48
FIGURA 3.7 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DE UMA MATRIZ DE ERRO.....	50
FIGURA 3.8 - HIERARQUIA DOS OBJETOS PARA DETECÇÃO DE MUDANÇAS.....	55
FIGURA 4.1 - FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES REFERENTE À METODOLOGIA PROPOSTA. ....	61
FIGURA 4.2 - EFEITO DO SOMBREAMENTO MOSTRADO EM UM RECORTE DA ÁREA DA APA DE GUAPI-MIRIM.....	63
FIGURA 4.3 - MAREGRAMA DE 23/MAR/2006 (REGISTRO DA PRIMEIRA IMAGEM IKONOS NA APA DE GUAPI-MIRIM). ....	63
FIGURA 4.4 - MAREGRAMA DE 10/JUN/2008 (REGISTRO DA SEGUNDA IMAGEM IKONOS NA APA DE GUAPI-MIRIM). ....	64
FIGURA 4.5 - MAPA DOS RECORTES DAS CENAS IKONOS DA ÁREA DE ESTUDO.....	64
FIGURA 4.6 - FOLHA CARTOGRÁFICA CONTENDO A BASE DIGITAL. ....	66
FIGURA 4.7 - MDÉ GERADO A PARTIR DA BASE DIGITAL. ....	66
FIGURA 4.8 - SOBREPOSIÇÃO DE VETORES SOBRE UM RECORTE DA CENA IKONOS, ESCALA APROXIMADA 1:20.000.....	68
FIGURA 4.9 - MAPA DOS LOCAIS DOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS.....	70
FIGURA 4.10 - LOCALIZAÇÃO DOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS NA ÁREA DE ESTUDO (QUADRANTE 01). ....	71

FIGURA 4.11 - LOCALIZAÇÃO DOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS NA ÁREA DE ESTUDO (QUADRANTE 02) .....	72
FIGURA 4.12 - LOCALIZAÇÃO DOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS NA ÁREA DE ESTUDO (QUADRANTE 03) .....	73
FIGURA 4.13 - LOCALIZAÇÃO DOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS NA ÁREA DE ESTUDO (QUADRANTE 04) .....	74
FIGURA 4.14 - LOCALIZAÇÃO DOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS NA ÁREA DE ESTUDO (QUADRANTE 05) .....	75
FIGURA 4.15 - LOCALIZAÇÃO DOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS NA ÁREA DE ESTUDO (QUADRANTE 06) .....	76
FIGURA 4.16 - LOCALIZAÇÃO DOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS NA ÁREA DE ESTUDO (QUADRANTE 07) .....	77
FIGURA 4.17 - LOCALIZAÇÃO DOS REGISTROS FOTOGRÁFICOS NA ÁREA DE ESTUDO (QUADRANTE 08) .....	78
FIGURA 4.18 - REDE SEMÂNTICA PARA CARACTERIZAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO DA APA DE GUAPI-MIRIM. ....	87
FIGURA 4.19 - HISTOGRAMA EXIBINDO CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DE DUAS CLASSES DEFINIDAS MANUALMENTE NA IMAGEM IKONOS 2006. ....	88
FIGURA 5.1 - OBJETOS IDENTIFICADOS EM CADA NÍVEL DE EXECUÇÃO DA SEGMENTAÇÃO.....	92
FIGURA 5.2 - CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS NDVI E MEAN NIR PARA DUAS CLASSES. ....	98
FIGURA 5.3 - CORRELAÇÃO ENTRE OS PARÂMETROS NDVI E MEAN NIR PARA AS CLASSES BAÍA DE GUANABARA E PLANÍCE INTERMARÉ LAMOSAS. ....	100
FIGURA 5.4 - DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS DE QUATRO CLASSES NO ESPAÇO CARACTERÍSTICO DOS PARÂMETROS NDVI E MEAN DA BANDA BLUE. ....	101
FIGURA 5.5 - DISTRIBUIÇÃO DAS AMOSTRAS DE QUATRO CLASSES NO ESPAÇO CARACTERÍSTICO DOS PARÂMETROS DAS BANDAS NIR E BLUE.....	103
FIGURA 5.6 - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO DA IMAGEM IKONOS DE 2006. ....	105
FIGURA 5.7 - RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO DA IMAGEM IKONOS DE 2008. ....	106
FIGURA 5.8 - PROPORÇÃO DE CADA CLASSE PARA CADA ANO EM RELAÇÃO AO TOTAL DA ÁREA DE ESTUDO. ....	112
FIGURA 5.9 - ESTRUTURA DAS MUDANÇAS DE CLASSES DETECTADAS DA CLASSIFICAÇÃO DE 2006 PARA CLASSIFICAÇÃO DE 2008. OS OBJETOS IDENTIFICADOS COM A MESMA CLASSE EM AMBOS OS ANOS FORAM CLASSIFICADOS COMO SEM MUDANÇAS.....	115
FIGURA 5.10 - IDENTIFICAÇÃO DAS ALTERAÇÕES DE USO E COBERTURA DO SOLO POR CLASSE DE MUDANÇA. ....	116
FIGURA 5.11 - MAPA DA EVOLUÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO ENTRE OS ANOS 2006 E 2008. ....	124
FIGURA 5.12 - EXEMPLO DE FRANJA DE MANGUE PRESERVADO NA ORLA DA APA DE GUAPI-MIRIM.....	125
FIGURA 5.13 - LOCAL DE DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS CARREADOS PELO RIO GUAPI. ....	127
FIGURA 5.14 - ÍNDICE DE SENSIBILIDADE COSTEIRA A DERRAMES DE ÓLEO ELABORADO PELA PETROBRAS. ....	129
FIGURA 5.15 - PROPOSTA DE MAPEAMENTO DE SENSIBILIDADE COSTEIRA A DERRAMES DE ÓLEO CONSIDERANDO A HIDRODINÂMICA E A PLANÍCE INTERMARÉ LAMOSAS ASSOCIADA AO MANGUE PRESERVADO. ....	130

## LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – INFORMAÇÕES GERAIS DA APA DE GUAPI-MIRIM.....	16
TABELA 2.2 - ESPÉCIES DE MANGUES ENCONTRADAS NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUAPI-MIRIM.....	17
TABELA 2.3 - ESPÉCIES VEGETAIS TÍPICAS ASSOCIADAS AOS MANGUEZAIS ENCONTRADAS NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE GUAPI-MIRIM .....	19
TABELA 2.4 - CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS QUE DRENAM PARA A APA DE GUAPI-MIRIM .....	22
TABELA 3.1 - CARACTERÍSTICAS DO SENSOR IKONOS II .....	32
TABELA 3.2 - FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA.....	46
TABELA 3.3 - GRUPO DE ATRIBUTOS DA IMAGEM.....	47
TABELA 3.4 - NÍVEIS DE QUALIDADE DA CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM O ÍNDICE KAPPA, SEGUNDO LANDIS & KOCH (1977).....	53
TABELA 3.5 - ÍNDICE DE SENSIBILIDADE DO LITORAL (ISL) .....	58
TABELA 4.1 - CONFIGURAÇÃO DO COMPUTADOR UTILIZADO NO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	59
TABELA 4.2 - CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS IKONOS ADQUIRIDAS.....	62
TABELA 4.3 - LISTA DE PONTOS DE CONTROLE (GCPs) NAS IMAGENS IKONOS .....	67
TABELA 4.4 - CLASSES DA ZONA DE PROTEÇÃO DA VIDA SILVESTRE IDENTIFICADAS POR ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM IKONOS E OBSERVAÇÕES EM CAMPO .....	83
TABELA 4.5 - CLASSES DA ZONA DE Uso SUSTENTÁVEL IDENTIFICADAS POR ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM IKONOS E OBSERVAÇÕES EM CAMPO.....	84
TABELA 4.6 - CLASSES DA ZONA DE PROTEÇÃO DA VIDA MARINHA IDENTIFICADAS POR ELEMENTOS DE INTERPRETAÇÃO DA IMAGEM IKONOS E OBSERVAÇÕES EM CAMPO .....	86
TABELA 5.1 - CONFIGURAÇÃO DETALHADA DE CADA NÍVEL DE EXECUÇÃO DA SEGMENTAÇÃO DAS IMAGENS IKONOS II DE 2006 E 2008 .....	94
TABELA 5.2 - DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES UTILIZADAS EM CADA CLASSE DO NÍVEL I (IMAGEM IKONOS 2006) .....	96
TABELA 5.3 - DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES UTILIZADAS EM CADA CLASSE DO NÍVEL II (IMAGEM IKONOS 2006) .....	97
TABELA 5.4 - DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES UTILIZADAS EM CADA CLASSE DO NÍVEL III (IMAGEM IKONOS 2006) .....	99
TABELA 5.5 - DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES UTILIZADAS EM CADA CLASSE DO NÍVEL I (IMAGEM IKONOS 2008) .....	100
TABELA 5.6 - DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES UTILIZADAS EM CADA CLASSE DO NÍVEL II (IMAGEM IKONOS 2008) .....	102
TABELA 5.7 - DESCRIÇÃO DAS FUNÇÕES UTILIZADAS EM CADA CLASSE DO NÍVEL III (IMAGEM IKONOS 2008) .....	104
TABELA 5.8 - MATRIZ DE CONFUSÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM IKONOS DE 2006 .....	109
TABELA 5.9 - MATRIZ DE CONFUSÃO PARA CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM IKONOS DE 2008 .....	110
TABELA 5.10 - ÁREA DE CADA CLASSE PARA CADA ANO .....	111
TABELA 5.11 - TRANSIÇÃO DE CLASSES (HA).....	112
TABELA 5.12 - QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS ALTERADAS E NÃO ALTERADAS DAS CLASSES DO ANO 2006 PARA O ANO 2008 (HA).....	113
TABELA 5.13 - PROPOSTA DE REFINAMENTO DO ÍNDICE DE SENSIBILIDADE COSTEIRA DA APA DE GUAPI-MIRIM.....	128

# CAPÍTULO 1 - Introdução

## 1.1 - Motivação Científica

O conceito de desenvolvimento sustentável, introduzido no final da década de 80, tem por intuito promover um equilíbrio entre proteção ambiental e desenvolvimento econômico. A partir dos anos 90, sempre ancoradas neste conceito, as políticas ambientais de quase todos os países vêm buscando integrar o *desenvolvimento* com o uso sustentável dos recursos naturais (MAGRINI & SANTOS, 2001). Seguindo essa tendência, as empresas no Brasil começaram a investir em programas ambientais e sociais, com o objetivo de atender as reivindicações da sociedade, que se mostra cada vez mais engajada na defesa do meio ambiente. A indústria petrolífera, sobretudo, vem tentando aliar crescimento e rentabilidade com responsabilidade social e ambiental, para mudar sua imagem historicamente poluidora.

Com base nesse contexto, a Petrobras implantará, no município de Itaboraí, no Estado do Rio de Janeiro, a maior refinaria de óleo pesado do país. Considerado o maior empreendimento individual da história da Petrobras, o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) é o resultado de um investimento estimado inicialmente em 15 bilhões de reais. O principal objetivo do complexo é refinar 150 mil barris diários de petróleo pesado proveniente da Bacia de Campos (Marlim). O início das operações está previsto para 2012, gerando para o país uma economia de divisas superior a 4 bilhões de reais por ano, em decorrência da redução da importação de matéria-prima petroquímica e da redução da exportação de petróleo pesado (PETROBRAS, 2008).

O município de Itaboraí e seus arredores experimentam hoje uma transformação paisagística considerável durante a construção da nova refinaria, visto que essas áreas, antes do início das obras, eram dominadas por pequenos cultivos e pastagens.

A localização geográfica do COMPERJ proporcionará uma dinâmica de atividades econômicas ligadas à indústria do petróleo no entorno da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapi-Mirim, a qual protege o último remanescente de ecossistema de manguezal da Baía de Guanabara. Este novo cenário em que a APA estará inserida nos próximos anos acarretará maior potencial de riscos ambientais inerentes a derrames de óleo, principalmente aqueles advindos do transporte de hidrocarbonetos e outros produtos químicos.

Assim, para acompanhar essa mudança de cenário de forma a garantir a qualidade social e ambiental das cidades sob a área de influência do COMPERJ, é necessário que as instâncias governamentais competentes se resguardem com um planejamento urbano, ambiental e regional voltado para essas metas. Uma ferramenta que vem ganhando cada vez mais espaço na concepção do planejamento urbano e ambiental consiste no mapeamento sistemático utilizando imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto.

O sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas (SIG), devido à relação custo/benefício e à sua tecnologia avançada, têm sido utilizados cada vez mais para gerar informações estratégicas e oferecer suporte à tomada de decisões num grande número de aplicações, tais como planejamento urbano e ambiental (YANG, 2003). O sistema IKONOS II é um exemplo de uma nova geração de satélites equipados com sistemas sensores capazes de adquirir dados com alta resolução espacial. As imagens geradas garantem qualidade e precisão métrica às aplicações exigidas para uma escala local.

Motivado pela disponibilidade operacional de tal solução tecnológica, o presente trabalho discorrerá sobre novas metodologias de monitoramento ambiental multitemporal com imagens IKONOS II e definirá a sensibilidade ambiental a derrames de óleo em escala local, utilizando métodos de classificação semi-automática de uso e cobertura do solo em um local potencialmente impactável pelo COMPERJ: a Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim. O empreendimento petroquímico abrange parte dos municípios de Magé, Guapimirim, Itaboraí e São Gonçalo, os quais integram a região metropolitana do Rio de Janeiro.

## **1.2 - Objetivos**

A recente evolução no incremento da resolução espacial em dados obtidos por sistemas sensores orbitais ampliou consideravelmente a capacidade de identificação remota de alvos terrestres. Porém, a maior parte dos estudos utilizando estes sensores aponta para a discriminação de alvos em ambientes intra-urbanos.

O objetivo geral deste trabalho consiste em realizar uma análise multitemporal da APA de Guapi-Mirim, através da aplicação de técnicas de segmentação e classificação orientada a objetos em imagens IKONOS II, com a finalidade de caracterizar de mudanças de uso e cobertura do solo. Para tanto, serão utilizadas duas cenas do satélite IKONOS II sobre a área de estudo, referentes aos anos de 2006 e 2008. O resultado da classificação da imagem IKONOS de 2008 servirá de

base para detalhar o mapeamento da sensibilidade ambiental a derrames de óleo para a área de estudo. Para atingir tal propósito, os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Encontrar os parâmetros de segmentação que melhor definam o contorno dos alvos característicos de cada classe;
- Encontrar os atributos e seus respectivos valores que melhor caracterizem as classes de uso e cobertura do solo;
- Avaliar o desempenho da classificação no mapeamento do uso e cobertura do solo na APA de Guapi-Mirim, com referência aos anos de 2006 e 2008;
- Elaborar mapas de mudanças de uso e cobertura do solo ocorridas entre 2006 e 2008;
- Analisar as tendências de crescimento ou redução das classes de uso e cobertura do solo de 2008 em relação a 2006;
- Contribuir para o refinamento das cartas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo (Cartas SAO) na APA de Guapi-Mirim.

### **1.3- Justificativa**

As bacias hidrográficas dos Rios Macacu e Caceribu, que drenam o COMPERJ, são vitais para os manguezais da APA de Guapi-Mirim e da Estação Ecológica da Guanabara, uma vez que respondem pelo aporte da maior parte da água doce nesses ecossistemas sensíveis. Assim, a implantação do COMPERJ entre os médios e baixos cursos dos rios Caceribu e Macacu, nos municípios de Itaboraí e São Gonçalo, deve ser tomada com cautela, uma vez que, a apenas 12 km a jusante, encontram-se os limites da Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim. Essa APA inclui o principal remanescente de manguezais em faixa contínua de toda a Baía de Guanabara (PETROBRAS, 2008).

Merece ainda destaque o fato da área escolhida para a instalação do COMPERJ ser praticamente circundada por um conjunto de regiões que, em virtude da relevância da sua cobertura vegetal e localização, encontram-se protegidas como Unidades de Conservação, ou como áreas que fazem parte de estratégias de conservação. Vale também enfatizar que a Baía da Guanabara e suas cercanias estão indicadas como áreas prioritárias para conservação definidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2002a). De acordo com o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do COMPERJ (PETROBRAS, 2008), as unidades de conservação em questão compõem o chamado Mosaico Central Fluminense, cujo objetivo é preservar áreas cobertas por remanescentes da Floresta Atlântica, que se encontram em distintos graus de

conservação. Nesse sentido, é fundamental que em todo o projeto e na operação do COMPERJ exista máximo de empenho em zelar pelos ecossistemas circundantes.

Outro aspecto crítico é a alta sensibilidade ambiental a derrames de óleo dos manguezais. A sensibilidade dos ambientes litorâneos a vertimentos de petróleo deriva das características que determinam o nível de exposição à movimentação hidrodinâmica do tipo de substrato e da sensibilidade da biota (TORTELL, 1992). Os manguezais da APA de Guapi-Mirim, por se localizarem em ambientes abrigados, ou seja, protegidos das ações diretas das ondas e sob forte influência das marés, possuem maior tendência de acumulação de óleo e apresentam dificuldades incortornáveis para sua remoção.

Em vista do exposto, torna-se imprescindível o monitoramento constante desta Unidade de Conservação utilizando imagens satélites de alta resolução espacial, de modo a identificar as mudanças ocorridas ao longo dos anos e medir as alterações relevantes na APA de Guapi-Mirim em decorrência do processo de instalação do COMPERJ. Ademais, é fundamental pormenorizar as cartas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo (SAO) na escala operacional (1:10.000), com o objetivo de aumentar a eficácia dos planos de contingência concebidos para o empreendimento.

Tais procedimentos são necessários para o entendimento do cenário ambiental que a Petrobras encontrou na APA de Guapi-Mirim, ao anunciar oficialmente a intenção de construir seu novo empreendimento petroquímico no município de Itaboraí. Por esta razão, considera-se aqui o "marco" zero do estado em que se encontrava o mangue de Guapi-Mirim como sendo março de 2006, data da divulgação oficial do lançamento do COMPERJ.

#### **1.4 - Localização da Área de Estudo**

Localizada na Baía de Guanabara, entre as coordenadas geográficas 22°39'30" / 22°46'50" de latitude sul e 42°57'00" / 43°06'40" de longitude oeste, a APA de Guapi-Mirim é parte da região hidrográfica da Baía de Guanabara e também da região metropolitana do Rio de Janeiro (IBAMA & IBG, 2001).

Seu limite norte é definido pela rodovia BR-493 e pela área urbana do município de Magé; a sul, é determinado pela Serra de Itaúna e pela Ilha de Itaóca, no município de São Gonçalo; a leste, pela rodovia BR-493 e pelo Ramal Ferroviário Itambi-Campos, no município de Itaboraí; a oeste, pela Baía de Guanabara (Figura 1.1).

Tal área de proteção abrange uma superfície total de 138,25 km<sup>2</sup>. Desta, cerca de 61,80 km<sup>2</sup> (44,7%) correspondem aos manguezais, em diferentes estados de conservação e regeneração, que ocupam a faixa costeira dos municípios de São Gonçalo, Itaboraí, Guapimirim e Magé, drenada pelos baixos cursos dos rios Guapi, Caceribu (ex- Macacu) e Guaxindiba. Da área total da APA, 27,07 km<sup>2</sup> (19,6%) localizam-se em terra firme e os demais 49,56 km<sup>2</sup> (35,7%) englobam terrenos submersos na baía em frente aos mangues e uma estreita faixa emersa adjacente aos mesmos.



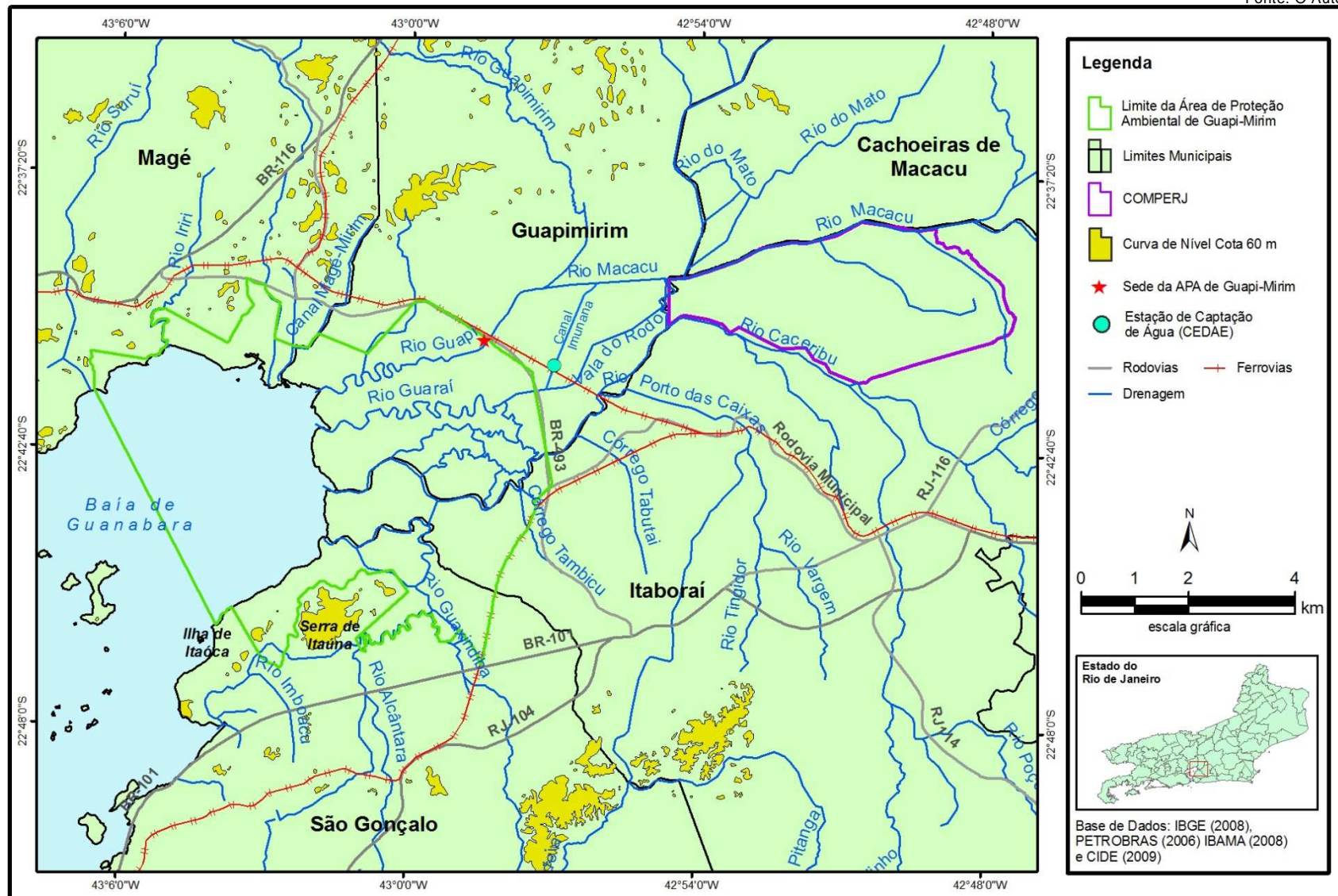


Figura 1.1 - Localização da área de estudo.

## 1.5 - Descrição Sucinta da Metodologia Proposta

A metodologia geral proposta para o desenvolvimento da pesquisa segue o fluxograma da Figura 1.2.

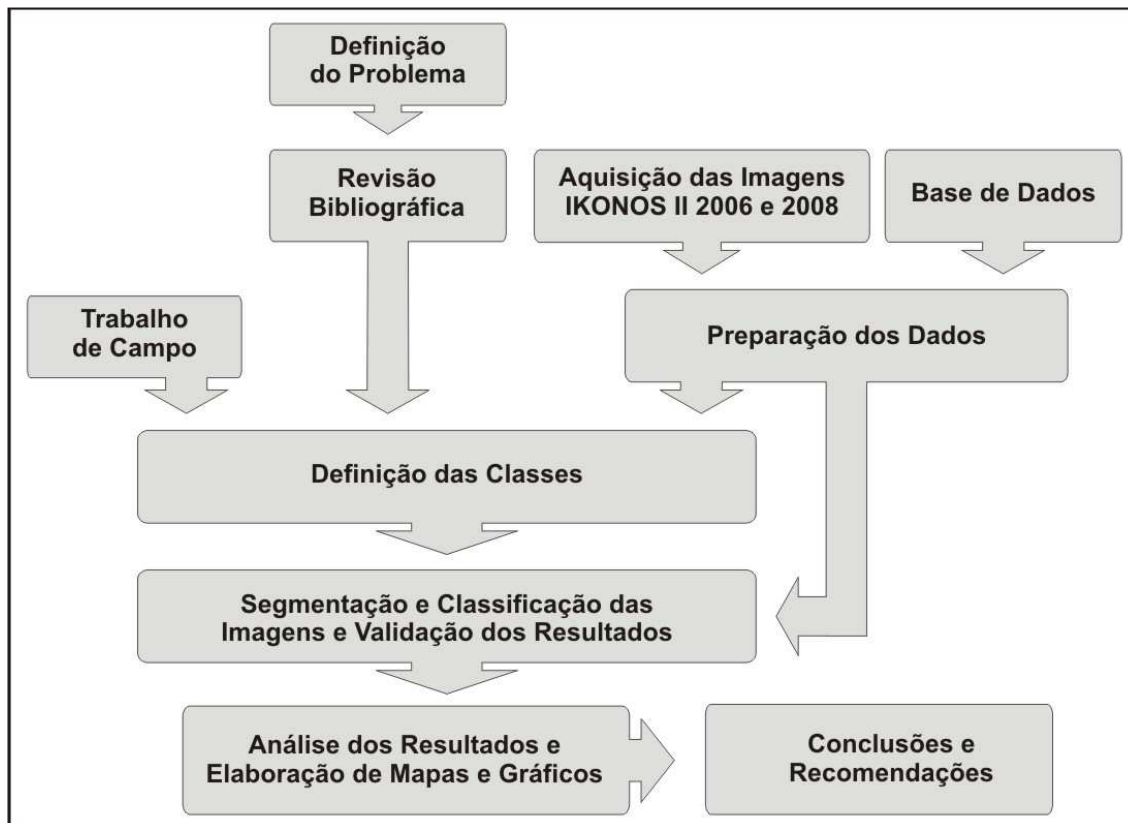


Figura 1.2 – Fluxograma de atividades referente à metodologia proposta.

### 1.5.1 Definição do Problema

Especificação da natureza do problema na indústria do petróleo, bem como a motivação científica para a realização da pesquisa. Tais considerações formam a base para a proposição dos objetivos e da justificativa do estudo.

### 1.5.2 Revisão Bibliográfica

Este procedimento tem por finalidade reunir informações envolvendo a área de estudo, a natureza do problema e o método a ser empregado no presente trabalho. Este material serve de base teórica para fundamentar a pesquisa em curso, a qual está dividida em dois capítulos. O primeiro (Capítulo 2) é dedicado ao entendimento da área de estudo, expondo aspectos gerais dos manguezais, vetores de degradação do mangue, características específicas da APA de Guapi-Mirim, sua relação histórica com a indústria do petróleo e ainda estudos pretéritos nesta área. O outro capítulo (Capítulo 3) fundamenta teoricamente os conceitos, definições e métodos aplicados

nesta pesquisa, tais como características do sensor IKONOS II, comportamento espectral dos alvos em estudo, procedimento de segmentação e classificação orientada a objetos, bem como o seu método de validação, e ainda a técnica de detecção de mudanças e o índice de sensibilidade ambiental a derrames de óleo.

### **1.5.3 Aquisição das Imagens IKONOS dos anos 2006 e 2008**

São expostas as características específicas das imagens referentes aos anos 2006 e 2008. Nesta etapa, é realizada uma verificação minuciosa em cada imagem para entender como as diferenças na paisagem durante a tomada das cenas podem influenciar interpretações dos alvos em estudo.

### **1.5.4 Base de Dados**

A aquisição de dados de órgãos oficiais é fundamental para a confiabilidade da pesquisa. Assim sendo, buscou-se dados de diversas instituições públicas e privadas, tais como IBGE, IBAMA, MMA, Fundação CIDE, Petrobras, Marinha do Brasil e Ampla Energia e Serviço S/A.

### **1.5.5 Preparação dos Dados**

Esta etapa reúne um conjunto de técnicas para que as imagens coincidam rigorosamente quanto à sua georeferência. Para tal, foram utilizados dados vetoriais altimétricos restituídos em escala 1:10.000 para garantir a ortorretificação das imagens. Em paralelo, outros dados de diversas fontes oficiais foram ajustados, quando necessário, para que toda base de dados compartilhasse o mesmo sistema de coordenadas geográficas.

### **1.5.6 Trabalho de Campo**

O trabalho de campo foi necessário para o reconhecimento da área de estudo e registro das feições características do local por meio de fotografias georreferenciadas, as quais fundamentaram a escolha das classes em estudo.

### **1.5.7 Definição das classes**

O processo de definição de classes envolveu visitas na área de estudo, registros fotográficos, referências bibliográficas, documentos oficiais, além das próprias imagens IKONOS. No Capítulo 4, observam-se as características específicas de cada classe, assim como sua exemplificação por fotografias e amostras na imagem IKONOS.

### **1.5.8 Segmentação, Classificação e Validação**

Definidas as classes, o próximo passo é a segmentação. O objetivo é identificar, através de configurações específicas em cada nível de segmentação, os contornos dos alvos pretendidos. Esse processo é fundamental para o bom desempenho da classificação, a qual se utiliza de características espectrais, de forma e contextuais para categorizar cada objeto (segmento) dentro de uma classe. Por fim, elabora-se uma matriz de confusão para avaliar a confiabilidade da classificação, por meio de índices de concordância. Caso o resultado seja satisfatório, segue-se adiante, caso contrário, reavalia-se o processo de classificação.

### **1.5.9 Análise dos Resultados**

Esta etapa concentra-se na exibição dos resultados e na análise destes, identificando as mudanças relevantes ocorridas em 2008 em relação ao ano 2006. A elaboração de mapas, gráficos e tabelas apontam tendências de crescimento ou redução espacial de uma determinada classe. Estas análises fornecem subsídios para refinar o Índice de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo para a APA de Guapi-Mirim.

### **1.5.10 Conclusões e Recomendações**

São apresentadas as principais conclusões da pesquisa realizada, no que tange à metodologia empregada e ao valor potencialmente agregado ao estudo de detecção de mudanças em uma unidade de conservação. Além disso, são feitas recomendações para o entendimento de resultados adicionais obtidos através da técnica de segmentação e classificação orientada a objeto.

## **CAPÍTULO 2 - Área de Estudo**

### **2.1 - Aspectos Gerais dos Manguezais**

Manguezais são ecossistemas costeiros tropicais e subtropicais associados a baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagunas ou diretamente expostos à linha de costa. Seu sistema ecológico é dominado por espécies vegetais típicas, que ocorrem em substratos com pequena declividade, periodicamente inundados pelas marés, com grandes variações de salinidade (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

Como os ecossistemas associados ao bioma Mata Atlântica e aos recursos hídricos, o manguezal é tido como um dos indicadores ecológicos mais significativos na zona costeira. O seu papel de proteger a costa, de conter sedimentos oriundos das bacias hidrográficas e de ser habitat de inúmeras espécies biológicas o caracteriza como um verdadeiro berçário do mar. Por isso mesmo, o manguezal ocupa uma larga faixa litorânea brasileira e, na costa fluminense, desempenha importantes funções ecossistêmicas (SEMADS, 2001).

Sua vegetação lenhosa e arbórea, que coloniza solos lodosos, é adaptada às condições específicas deste ambiente. Em tais solos salgados, pouco arejados, ricos em matéria orgânica e com baixo teor de oxigênio, desenvolvem-se plantas com adaptações muito especiais. Apesar da diversidade relativamente baixa de espécies, os bosques de mangue destacam-se por sua alta biodiversidade funcional, o que os capacita a ocupar áreas distintas, onde é inviável a ocupação pela maior parte das espécies vegetais (IPJB, 2009).

As marés são os principais mecanismos de penetração das águas salinas nos manguezais. Essas inundações periódicas tornam o substrato favorável à colonização pela vegetação de mangue, isto porque excluem plantas que não possuem mecanismos de adaptação para suportar a presença do sal (SCHAEFFER-NOVELLI & CINTRÓN, 1983).

Segundo SCHAEFFER-NOVELLI & CINTRÓN (1983), a distância máxima de penetração de água salgada determina o limite do manguezal em direção à terra firme, que pode atingir dezenas de quilômetros na foz dos grandes rios. A amplitude de maré determina a renovação das águas superficiais e intersticiais, levando consigo certa quantidade de oxigênio. Essa renovação tem papel importante para a seleção e fixação de propágulos, bem como para o transporte e distribuição de matéria orgânica particulada e/ou dissolvida (folhas, galhos, restos de animais).

### **2.1.1 Terminologia**

O termo *mangue* origina-se do vocábulo *manggi-manggi*, da língua Wolof – idioma oficial do Senegal. Essa palavra e suas variações como *mangli*, usadas por pequenos povos da região ocidental africana, deram origem à palavra espanhola *mangle* ou *manglar* (VANNUCCI, 2002).

Em português, mangue designa as árvores, de diferentes espécies, dessa comunidade, enquanto que o termo *manguezal* significa um conjunto de árvores, ou seja, a comunidade em si ou o ecossistema composto de mangues, animais, microrganismos, os solos, as águas e outros ecossistemas adjacentes (VANNUCCI, 2002).

### **2.1.2 Importância dos Manguezais**

Os manguezais são de grande importância na manutenção dos recursos naturais da zona costeira. Os autores PEREIRA FILHO & ALVES (1999) especificam algumas funções deste ecossistema:

- proteção da linha de costa - a vegetação desempenha a função de uma barreira, atuando contra a ação erosiva das ondas e marés, assim como em relação aos ventos;
- retenção de sedimentos carregados pelos rios, pois em virtude do baixo hidrodinamismo das áreas de manguezais, as partículas carregadas precipitam-se e somam-se ao substrato. Tal sedimentação possibilita a ocupação e a propagação da vegetação, o que viabiliza a estabilização da vasa lodosa a partir do sistema radicular dos mangues;
- ação depuradora- o ecossistema funciona como um filtro biológico em que as bactérias aeróbicas e anaeróbicas trabalham a matéria orgânica e a lama promove a fixação e inertização de partículas contaminantes, como os metais pesados;
- área de concentração de nutrientes- localizados em zonas estuarinas, os manguezais recebem águas ricas em nutrientes oriundas dos rios, principalmente, e do mar. Aliada a este favorecimento de localização, a vegetação apresenta uma produtividade elevada, sendo considerada como a principal fonte de carbono do ecossistema. Por isso mesmo, as áreas de manguezais são ricas em nutrientes;
- áreas de alimentação, abrigo, nidificação e repouso de aves - as espécies que ocorrem neste ambiente podem ser endêmicas, estreitamente ligadas ao sistema, visitantes e migratórias. Para elas, os

manguezais atuam como importantes mantenedores da diversidade biológica.

## **2.2 - Manguezal da Baía de Guanabara**

Há cerca de 500 anos, com a colonização dos portugueses, a região da Baía de Guanabara passou a ser dominada pelo cultivo de cana de açúcar, que se expandiu por toda a baixada litorânea, acarretando desmatamentos desenfreados (SEGADAS, 1987).

Até o século XVII, a orla da Baía de Guanabara conservava o seu contorno primitivo. No entanto, a expansão dos engenhos de açúcar, o aumento da produção agrícola para atender à metrópole, a abertura de olarias em virtude da grande quantidade de argila disponível nas baixadas, assim como a criação de caminhos que ligavam os portos da Estrela e de Suruí no período do ciclo do café e do ouro (século XVIII), ocasionaram o aterro de vários pontos do entorno da baía. Os manguezais foram desmatados para servir de lenha para as olarias e as matas foram derrubadas para a expansão da produção açucareira e cafeeira da região (AMADOR, 1997).

LACORTE & ANDRADE (1988) afirmam que, no século XIX, apesar de prósperas, as vilas que surgiram no entorno dos portos, como Porto das Caixas e Suruí, não se desenvolveram plenamente. Dentre as razões apontadas, destaca-se a grande vocação do norte fluminense para a produção de açúcar e do sul fluminense para o cultivo do café, além do esgotamento das terras, exauridas de sua fertilidade natural pelo desmatamento generalizado.

A região da Baía de Guanabara entrou em decadência no final do século XIX, levando a um esvaziamento populacional e ao restabelecimento das várzeas, brejos e manguezais. Nas encostas e serras abandonadas pelo café, houve a proliferação da capoeira (AMADOR, 1997).

O manguezal do fundo da Baía de Guanabara ganhou notoriedade na sua história recente a partir das décadas de 1940/50, quando o governo federal promoveu grandes obras saneamento e retificação de cursos dos rios em toda área. Em nome do “Saneamento da Baixada Fluminense”, brejos, pântanos e manguezais foram drenados; os rios, naturalmente meândricos, foram transformados em canais artificiais, alargados, retificados e aprofundados, o que reduziu bastante a área de ocorrência de manguezais nessa região. Apenas o trecho de baixo curso dos grandes rios da Baixada Fluminense, como o Macacu, Guapi e Guaxindiba/Alcântara, com seus

amplios canais de maré associados aos manguezais, foram poupados (ARAÚJO & MACIEL, 1979).

Em 1947, foram iniciadas as obras para a captação de águas para o abastecimento público do leste do Estado da Guanabara, que resultaram no desvio do Rio Macacu, até então o maior tributário de toda essa região da baía. Suas águas foram redirecionadas, logo após o desaguar do Rio Guapiaçu, para a bacia do Guapimirim, através do Canal do Imunana (PLANIDRO, 1970). Por seu antigo leito, já drenando o manguezal, corre atualmente o Rio Caceribu. As águas do alto Macacu/Guapiaçu, desviadas para o Rio Guapimirim, deságuam na baía com o nome de Guapi (ARAÚJO & MACIEL, 1979).

Por outro lado, essa intervenção aplainou o caminho para o processo de urbanização relacionado à transformação das economias carioca e fluminense, através da implantação progressiva de grandes, médias e pequenas indústrias de diversos ramos. Nessa região recuperada aos brejos, houve um surto de desenvolvimento agroexportador – baseado na laranja – que durou aproximadamente duas décadas (1940 a 1960).

A partir de 1950, o fluxo de pessoas para região aumentou ininterruptamente, até transformá-la em um grande aglomerado urbano, abrigando uma população atual de 1.300.000 habitantes apenas nos quatro municípios que circundam a APA. Nessa área, são notórias as deficiências em saneamento, educação, saúde e renda familiar.

### **2.2.1 Atuais Vetores de Degradação**

Como mencionado anteriormente, o desmatamento em áreas de manguezais é uma das alterações ambientais mais antigas no Brasil, cuja prática remonta ao século XVI. Hoje, no Estado do Rio de Janeiro, tal atividade é praticada com diferentes fins. Na Baía de Guanabara, a madeira de mangue é utilizada como combustível (carvão) e para a produção de cercas, como também para a construção de casas e currais (ALMEIDA *et al.*, 2001).

ALMEIDA *et al.* (2001) salientam que o corte da vegetação de mangue, além de destruir a flora, expõe o sedimento ao sol, provocando o ressecamento e a salinização do substrato, o que resulta na morte de caranguejos e mariscos, além de afetar a produtividade e a pesca de caranguejos, camarões e peixes.

De acordo com o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA & INPE, 2001), no período 1995-2000, o Estado do Rio de Janeiro perdeu 255 hectares de áreas de manguezais, o que



representa 2,6% do que existia em 1995. O município do Rio de Janeiro teve a maior supressão de mangue (142 hectares). Em 1995, as áreas inventariadas de mangue abrangeram cerca de 9.865 hectares, enquanto, no ano 2000, foram registradas 9.610 hectares.

Outro fator de risco que pode comprometer a saúde do manguezal de Guapi-Mirim refere-se aos rios que cortam sua extensão e deságuam na Baía de Guanabara. Por outro lado, a própria baía também pode influenciar a integridade do mangue. A comunidade vegetal do manguezal nesse ecossistema está adaptada ao desenvolvimento em áreas inundadas, a flutuações de salinidade e a sedimentos soltos, com baixos teores de oxigênio (ALMEIDA *et al.*, 2001). Assim, quando os rios trazem lixo e sedimentos em excesso, os manguezais inevitavelmente sofrem o impacto decorrente dos problemas ambientais relacionados à ocupação desordenada e ao uso inadequado das bacias a montante.

O manguezal de Guapi-Mirim ainda sofre com o despejo de esgotos domésticos e industriais nos rios que drenam o mangue. Segundo CARMO *et al.* (1995), os manguezais não parecem ser muito prejudicados por descargas indiretas de esgoto, contanto que diluídas. Aparentemente, este ecossistema é tolerante a um enriquecimento de nutrientes, mas, quando a carga orgânica é excessiva, pode ocorrer um aumento de produção primária, resultando em mortandade da fauna.

O elevado índice de urbanização e adensamento populacional, principalmente em sua região metropolitana (80% dos habitantes do Estado), é um dos principais problemas do Rio de Janeiro, em se tratando de conservação dos recursos naturais (IBAMA, 2001). A infra-estrutura existente é deficitária, principalmente no que se refere ao saneamento básico, trazendo problemas graves de comprometimento dos recursos hídricos que drenam as áreas urbanas e industriais da região (IBAMA & IBG, 2001).

No entanto, de acordo com o Plano de Manejo da APA de Guapi-Mirim, a pressão demográfica da urbanização – com suas demandas sociais (saneamento básico, lixo, habitação, educação, saúde) e econômicas (indústrias, comércio, transportes, serviços, abastecimento alimentar) – é o aspecto mais relevante a ser tratado, no que diz respeito aos problemas sócio-econômicos desta Unidade de Conservação. Os dados dos setores censitários internos à APA de Guapi-Mirim estimam em menos de 2.000 (duas mil) as pessoas morando nos seus limites. Se no interior da APA podemos estimar uma densidade demográfica de 15 hab/km<sup>2</sup>, no município de São Gonçalo, por exemplo, essa densidade atinge os 3.500 hab/ km<sup>2</sup>.

### **2.2.2 Criação da APA de Guapi-Mirim**

No dia 25 de setembro de 1984, foi criada a Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim, pelo Decreto Federal n.º 90.225, atendendo ao pleito de universidades, movimentos ambientalistas e da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), como uma tentativa de reduzir as pressões urbanas e impactos ambientais sobre o que ainda restava de mangue na Baía de Guanabara (AMADOR, 1997).

A Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) define a ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL, em seu artigo 15, como um local em geral extenso, com um certo grau de ocupação antópica, dotado de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e para o bem-estar das populações humanas, com os seguintes objetivos básicos:

(§ 1º) proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais; constituída por terras públicas ou privadas;

(§ 2º) onde podem ser estabelecidas normas e restrições para a utilização da propriedade privada;

(§ 3º) condições para a realização de pesquisa científica e visitação pública, pelo seu órgão gestor, nas áreas públicas;

(§ 4º) e pelo seu proprietário, nas privadas;

(§ 5º) dispor de um Conselho, presidido pelo órgão administrador e constituído por representantes dos órgãos públicos, de ONG (Organização Não Governamental) e da população residente.

Assim, a APA é uma das categorias de Unidade de Conservação integrante do SNUC, como parte do grupo das unidades de uso sustentável dos recursos naturais, caracterizada por possuir extensas áreas, que permanecem com os particulares, sem necessidade de desapropriação dessas terras para a sua criação. Contudo, a realização de qualquer atividade ou expansão de construções dentro da APA deverá ter o consentimento prévio do IBAMA, de forma a garantir a sustentabilidade do ecossistema lá existente em curto e longo prazo.

### **2.2.3 Ficha Técnica da APA de Guapi-Mirim**

A APA de Guapi-Mirim foi assim nomeada em homenagem ao Rio Guapimirim, que está localizado muito próximo à sua sede. O nome Guapi-Mirim é de origem Tupi e significa: Guapi – cabeceira de rio, nascente; Mirim – coisa pequena. A Tabela 2.1 expõe algumas informações gerais sobre a Unidade de Conservação.

Tabela 2.1 – Informações Gerais da APA de Guapi-Mirim

<b>Unidade Gestora / Executora</b>	IBAMA – DIREC – Coordenadoria Geral de Unidades de Conservação Escritório Regional do IBAMA/RJ e Núcleo Regional de Unidades de Conservação – RJ – Parque Nacional da Serra dos Órgãos (Teresópolis)
<b>Endereço da Sede</b>	BR 493 - km 12,8 Guapimirim – RJ CEP: 25.940-000 Caixa Postal: 711 – Magé CEP: 25.900-000
<b>Superfície</b>	138,25 km <sup>2</sup>
<b>Municípios Abrangidos</b>	São Gonçalo Itaboraí Guapimirim Magé
<b>Coordenadas Geográficas</b>	Latitudes: 22°39'30" S / 22°46'50" S Longitudes: 42°57'00" W / 43°06'40" W
<b>Bioma e Ecossistemas</b>	Bioma: Mata Atlântica Ecossistema: Manguezal e Marinho

#### 2.2.4 Características da Vegetação da APA de Guapi-Mirim

O manguezal é composto por espécies lenhosas comumente chamadas de mangue, acompanhadas de espécies herbáceas, epífitas, hemiparasitas e aquáticas típicas. ARAÚJO & MACIEL (1979) classificam os manguezais da APA de Guapi-Mirim como do tipo ribeirinho, que normalmente ocupam as aluviões ao longo dos rios e gamboas que drenam a área inundada periodicamente pelas marés. Esses manguezais, segundo as autoras, são caracterizados floristicamente pelas espécies arbóreas *Ryzophora mangle* L. (mangue vermelho), *Avicennia schauerianna* S. (mangue preto) e *Laguncularia racemosa* G. (mangue branco), que ocupam o ecossistema sem apresentar vestígios de zonação (Tabela 2.2).

A falta de zonação é atribuída à intensa derrubada de árvores ao longo das últimas décadas, conforme constatado por PIRES (1986). Tal fato foi agravado pelos trabalhos de retificação dos principais rios que drenam os manguezais. Mesmo assim, são encontrados, ainda em números representativos nas áreas mais protegidas, indivíduos de mangue vermelho e mangue preto com até 15 metros de altura (IBAMA & IBG, 2001).

**Tabela 2.2 - Espécies de Mangues Encontradas na Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim**

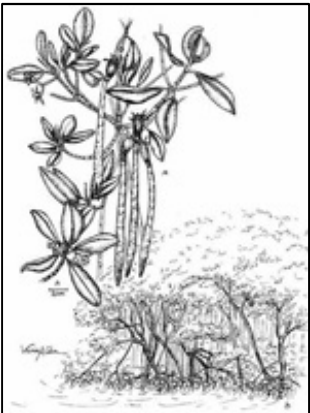

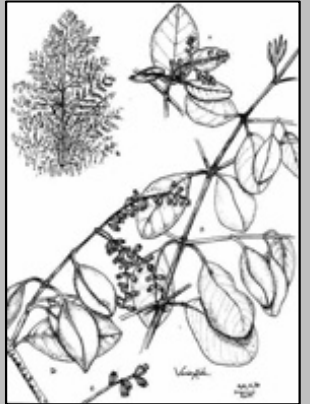

Espécie	Descrição	Esquema	Imagem
<p><b><i>Ryzophora mangle</i></b> <b>(mangue vermelho)</b></p>	<p>Possui casca lisa e clara que, ao ser raspada, apresenta cor vermelha. O sistema radicado do mangue é formado por rhizóforos, chamados também de raízes escora, que partem dos troncos, além das raízes adventícias, que partem dos galhos. Este sistema favorece a sustentação da planta no solo inconsolidado do manguezal (SCHAEFFER-NOVELLI &amp; CINTRÓN, 1983).</p>		
<p><b><i>Avicennia schauerina</i></b> <b>(mangue preto)</b></p>	<p>A siriúba, gênero <i>Avicennia</i>, é uma árvore com casca lisa que, quando raspada, mostra cor amarelada. Esta espécie possui folhas esbranquiçadas por baixo devido à presença de minúsculas escamas (SUGIYAMA, 2003). Espécie caracterizada por possuir pneumatóforos, raízes com geotropismos negativos que crescem em direção à luz e se desenvolvem radialmente ao tronco. Esta adaptação é necessária devido à pouca oxigenação do solo do manguezal. Tais estruturas são responsáveis pelo processo de troca gasosa, por isso crescem eretas em direção à superfície (SCHAEFFER-NOVELLI, <i>op. cit.</i>)</p>		

Tabela 2.2 - Espécies de Mangues Encontradas na Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim (Continuação)








Espécie	Descrição	Esquema	Imagem
<p><b><i>Laguncularia racemosa</i></b> (mangue branco)</p>	<p>O mangue branco, gênero <i>Laguncularia racemosa</i>, é caracterizado por possuir sistema radicular semelhante ao do mangue preto (<i>Avicennia shaueriana</i>), porém menos desenvolvido. Os pneumatóforos são menores e menos numerosos. Suas folhas são diferenciadas por possuírem pecíolo vermelho, com a existência de duas glândulas vestiginais na parte superior (SCHAEFFER-NOVELLI, <i>op. cit.</i>).</p>		

Tabela 2.3 - Espécies Vegetais Típicas Associadas aos Manguezais Encontradas na Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim

Imagem	Espécie	Imagem	Espécie
	<p><i>Spartina alterniflora</i></p>		<p><i>Hibiscus pernambucensis</i> (Algodoeiro do Brejo)</p>
	<p><i>Paspalum vaginatum</i> (Gramma)</p>		<p><i>Typha domingensis</i> (Taboa)</p>
	<p><i>Acrostichum aureum</i> (Samambaia do Brejo)</p>		



Ainda, segundo ARAÚJO & MACIEL (1979), é também característica, na citada Unidade de Conservação, a presença de gramíneas, com destaque para a *Spartina alterniflora* Loisel (*S.alterniflora*), normalmente ocupando a vasa lodosa, em faixas de 1 a 3 metros de largura à frente da vegetação lenhosa. Em áreas mais internas, é comum o desenvolvimento de invasoras, como a arbustiva *Hibiscus pernambucensis* A. Cam (algodoeiro do brejo) e a *Acrostichum aureum* L. (samambaia do brejo). Tais espécies ocupam seções do manguezal desmatado em substrato alterado, que não oferece condições para o repovoamento das espécies originais. Na orla do manguezal, as espécies que ocorrem são: *Ingá affinis* (ingá doce), *Erythrina speciosa* (suinã) e *Tabebuia cassinoides* (tabebuia do brejo). Na zona de transição entre o manguezal e outros tipos de vegetação, verificam-se as seguintes espécies: *Dalbergia ecastophylla*, *Paspalum vaginatum*, *Schinus terebinthifolius* (aroeira) e *Typha domingensis* (taboa) (IBAMA & IBG, 2001). Algumas espécies podem ser vislumbradas na Tabela 2.3.

### **2.2.5 Zoneamento da APA de Guapi-Mirim**

O zoneamento ambiental é definido como um instrumento jurídico de ordenação do uso e ocupação do solo, meio pelo qual se instituem zonas de atuação especial com vistas à preservação e recuperação da qualidade ambiental. A diferença deste tipo de zoneamento para o urbano está no fato de que o zoneamento ambiental objetiva primordialmente a proteção do meio ambiente, de sorte que o uso permitido será estritamente limitado (SILVA, 2000).

De acordo com o seu Plano de Manejo (IBAMA & IBG, 2001), a APA de Guapi-Mirim é dividida em três Zonas: a Zona de Proteção da Vida Marinha, a Zona de Proteção da Vida Silvestre e a Zona de Uso Sustentável (Figura 2.1).

#### **2.2.5.1 Zona de Proteção da Vida Marinha**

Corresponde à massa de águas da Baía de Guanabara à frente dos manguezais, ocupando aproximadamente 49,25 km<sup>2</sup>, o que equivale a 35,6% da área total da APA. Essa coleção de água detém os mais baixos níveis de salinidade encontrados em toda a baía, resultante, principalmente, da contribuição de água doce proveniente dos principais rios que drenam para essa região. Por aí chegam cerca de 70% de toda a contribuição de água doce da Baía de Guanabara.

#### **2.2.5.2 Zona de Proteção da Vida Silvestre**

Corresponde à faixa contínua de manguezais da Baía da Guanabara, ocupada por bosques de mangue em diversos níveis de preservação e seções de manguezal alterado, com maior ou menor grau de reversibilidade quanto à sua recuperação. Sua

área total é da ordem de 62 km<sup>2</sup>. Este ecossistema ocorre nos terrenos baixos, com mínima inclinação, sujeitos às inundações das marés, localizados em áreas relativamente abrigadas e formados por vasas lodosas recentes, às quais se associam comunidades vegetais características.

Fonte: O Autor

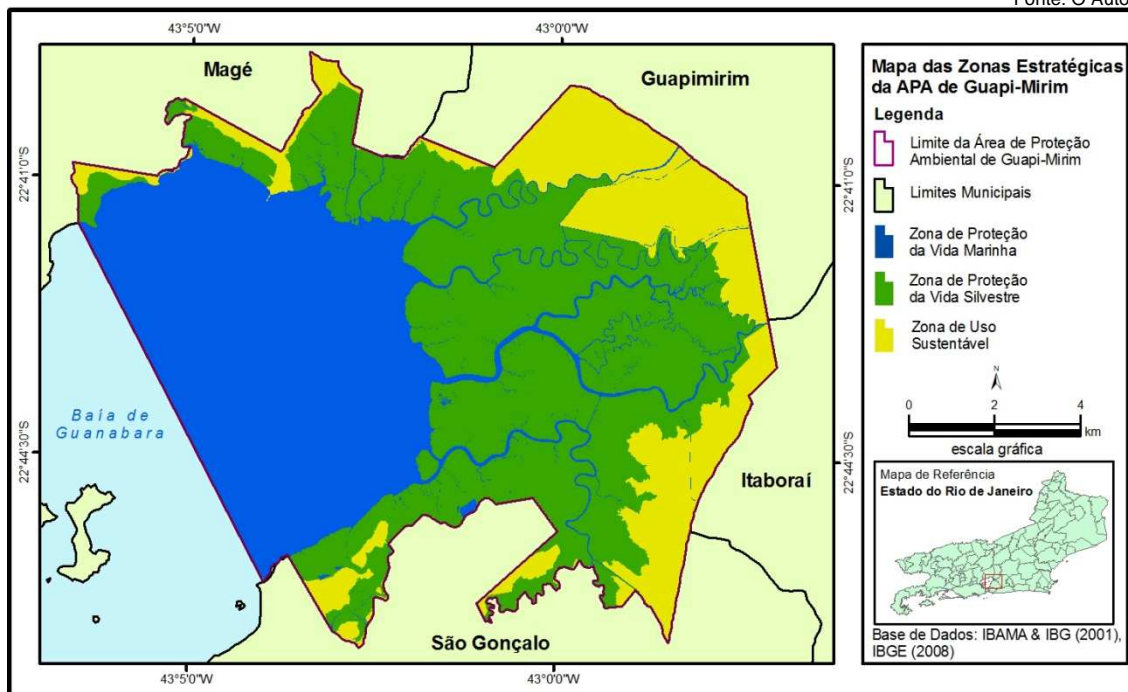


Figura 2.1 - Zoneamento da APA de Guapi-Mirim.

Último reduto de manguezais remanescentes em faixa contínua em toda a Baía de Guanabara, representam 80% do total da superfície recoberta por este ecossistema na referida baía. Na APA de Guapi-Mirim, esta faixa de manguezal compreende 44,8% de sua área total.

### 2.2.5.3 Zona de Uso Sustentável

Trata-se de uma faixa de terra firme adjacente aos manguezais, que ocupa uma superfície de 27 km<sup>2</sup> ou 19,5% do total da APA. É constituída, em grande parte, por antigas seções de manguezal e campos salgados, que foram sendo “recuperados” por intensos trabalhos de engenharia, retificação, drenagem e aterros realizados a partir do início da década de 40 do século XX.

Historicamente, essa região foi ocupada por práticas agrícolas diversificadas e, posteriormente, com o declínio dessa atividade, deu lugar ao pastoreio extensivo. Mais recentemente, seu entorno constitui área de expansão urbana em considerável crescimento, principalmente do município de São Gonçalo, o que representa um risco potencial para a APA de Guapi-Mirim.



## 2.2.6 Características Hidrográficas da APA de Guapi-Mirim

A área da APA de Guapi-Mirim é drenada pelos baixos cursos de diversos rios e canais, sendo que os rios Guapi/Macacu, Caceribu e Guaxindiba/Alcântara se destacam pelo porte e vazão. Há ainda os cursos d'água interiores à APA, cujos principais representantes são o Guaraí e o Guaraí-Mirim (AMADOR, 1997).

A Bacia dos Rios Guapiaçu e Macacu (Guapi/Macacu), a maior dentre todas na rede hidrográfica da Baía de Guanabara, é a responsável pela principal contribuição de água doce para o manguezal, como mostra a Tabela 2.4. Além disso, o Rio Macacu é também o único fornecedor de água potável para o abastecimento público dos municípios de São Gonçalo, Niterói, Ilha de Paquetá e parte de Itaboraí, através da captação de 7.000 L/s no Canal de Imunana (CEDAE, 2009).

Fonte: (JICA, 1993)

**Tabela 2.4 - Características das bacias hidrográficas que drenam para a APA de Guapi-Mirim**

Bacia Hidrográfica	Área (km <sup>2</sup> )	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
Rio Suruí	68,80	2,09
Rio Iriri	27,80	0,97
Rio Roncador	111,40	3,65
Canal de Magé	18,30	0,67
Rio Guapi/Macacu	1641,50	32,36
Rio Caceribu	846,70	27,67
Rio Guaxindiba	144,60	11,48
Rio Imboaçú/Itaóca	30,80	3,14
<b>Total</b>	<b>2889,90</b>	<b>82,03</b>

Observa-se, na Figura 2.2, que a área de construção do COMPERJ está localizada entre as duas maiores bacias hidrográficas que drenam a APA de Guapi-Mirim. Essa característica do empreendimento da Petrobras traz um significativo potencial de riscos ambientais sobre tal Unidade de Conservação.

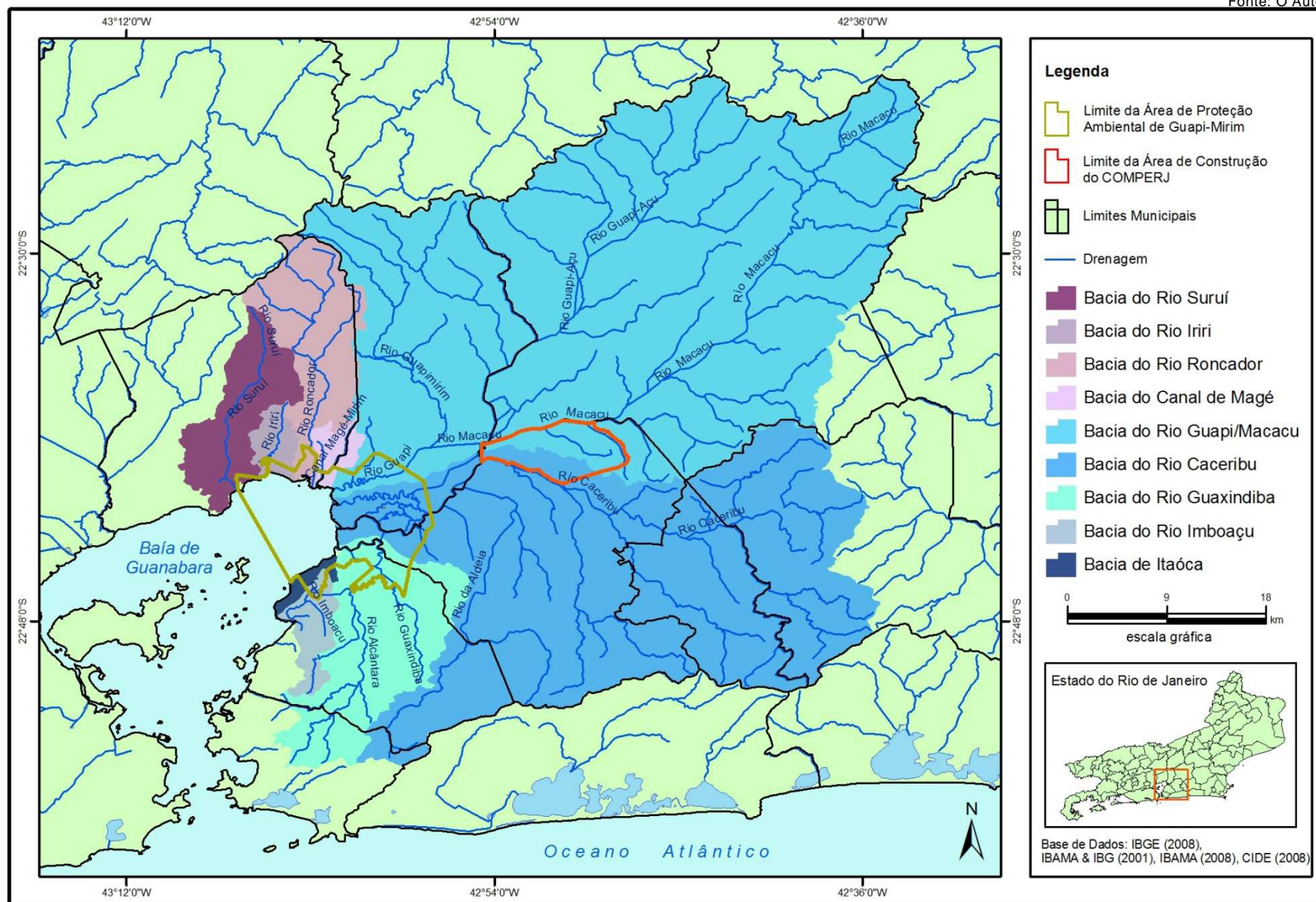


Figura 2.2 - Sub-bacias hidrográficas drenantes para a APA de Guapi-Mirim.

## 2.2.7 APA de Guapi-Mirim e a Indústria do Petróleo

Anteriormente, foram mencionados alguns vetores que ameaçam a integridade APA de Guapi-Mirim. Contudo, outro vetor potencial de degradação do mangue e que requer atenção contínua são os impactos que os derrames de óleo podem causar na Baía de Guanabara e, em especial, na APA de Guapi-Mirim.

Dentre as atividades industriais na região metropolitana do Rio de Janeiro, destaca-se a indústria do petróleo. O petróleo tornou-se tão indispensável para o homem contemporâneo, que sua produção e transporte passaram a ser objetivos estratégicos. No entanto, a utilização de tal recurso acarreta riscos para o meio ambiente, principalmente relacionados à derrames de óleo. Em grande parte, os acidentes estão relacionados à etapa de transporte, fase em que podem ocorrer vertimentos em grande escala, tanto em oleodutos quanto em navios petroleiros (ARAUJO *et al.*, 2007).

Adotando uma linha estratégica de diminuição de custos por proximidade dos grandes centros urbanos, a indústria do petróleo, notadamente a Petrobras, vem historicamente construindo suas instalações no entorno da Baía de Guanabara. Além disso, a própria baía é utilizada como porta de entrada para navios petroleiros, para a implantação de dutos submarinos e para o uso de terminais aquaviários. Existem ainda os estaleiros que fazem a manutenção de navios e plataformas de exploração.

Como consequência das atividades intensas desta indústria, grandes acidentes ocorreram na história recente da Baía de Guanabara. Em janeiro de 2000, um oleoduto derramou 1,3 milhão de litros de petróleo na Baía de Guanabara, agravando sua histórica poluição e destruindo manguezais. O duto que liga a Refinaria de Duque de Caxias ao terminal de abastecimento de navios na Ilha D'Água rompeu-se, e o vazamento durou cerca de trinta minutos. A falha foi verificada pelo medidor de pressão. Por causa das marés e dos ventos, o óleo vazado acabou se concentrando no fundo da baía (BAYARDINO, 2004).

A mancha de óleo estendeu-se por uma faixa superior a 50 km<sup>2</sup>, atingindo os limites da APA de Guapi-Mirim, praias banhadas pela Baía de Guanabara, inúmeras espécies da fauna e flora, além de provocar graves prejuízos de ordem social e econômica à população local.

Outro dano ecológico sobre a APA de Guapi-Mirim ocorreu em abril de 2005, quando um trem da FCA (Ferrovia Centro Atlântico), que partiu de Campos Elíseos com destino ao município de Campos, descarrilou em Porto das Caixas (distrito de Itaboraí), a 100 metros dos limites desta Unidade de Conservação, derramando cerca

de 60 mil litros de óleo diesel. O combustível atingiu os manguezais da APA, mas, segundo relatórios técnicos, os danos foram reversíveis. A Companhia Vale de Rio Doce, empresa responsável pela FCA, além de pagar a multa, comprometeu-se em investir na estrutura da sede da APA de Guapi-Mirim.

Outros acidentes de pequeno porte são freqüentes na Baía de Guanabara, mas não há repercussão na mídia em geral. Entretanto, isso não esconde a fragilidade da Baía de Guanabara e adjacências frente à indústria petrolífera. A Figura 2.3 mostra a infra-estrutura de transportes e instalações desta indústria na Baía de Guanabara, com destaque para aquelas situadas nas proximidades da APA de Guapi-Mirim.

Observa-se, na Figura 2.3, que a APA de Guapi-Mirim é cercada de atividades da indústria do petróleo, seja por refinarias, dutos, terminais terrestres ou aquaviários, além do transporte de seus derivados por linhas férreas ou rodovias em suas vizinhanças. Quando em operação, o COMPERJ intensificará ainda mais a malha existente de dutos e modais de transportes, bem como a construção de novas alternativas.

Fonte: O Autor

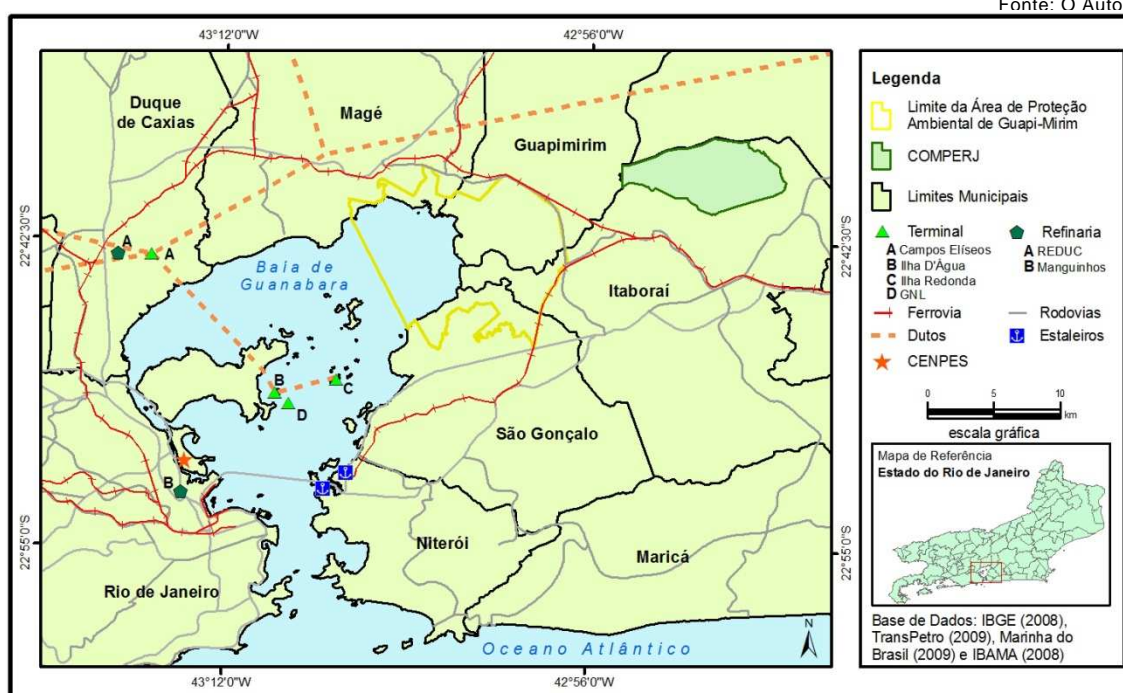


Figura 2.3 - Mapa de infra-estrutura de transportes e de instalações da indústria do petróleo no entorno da Baía de Guanabara e da APA de Guapi-Mirim.

### 2.2.8 Mapeamentos Pretéritos da APA de Guapi-Mirim

A APA de Guapi-Mirim sempre despertou interesse da comunidade científica nos mais diversos ramos de pesquisa, como, por exemplo: saúde sanitária e condições de trabalho dos pescadores, conforme ROSA (2005); abordando a questão pelo ponto de vista legislativo, como a atuação do Ministério Público Estadual na

proteção do meio ambiente de Magé e Guapimirim, tema da dissertação de SANGIARD (2000); assuntos ligados à educação ambiental, como discutido por COUTO (2006).

Contudo, estudos envolvendo o mapeamento do uso do solo e da cobertura vegetal da APA de Guapi-Mirim são pouco freqüentes na literatura. Existe uma forte tendência de incremento do esforço de mapeamento utilizando dados e métodos diversos, fomentados, principalmente, pela demanda de estudos dos potenciais impactos ambientais e sociais decorrentes da instalação da novo complexo da Petrobras no município de Itaboraí.

Um dos trabalhos pioneiros na formulação de uma base sistemática para a classificação do uso do solo a partir de dados orbitais foi proposto por PIRES (1986), com intuito de mapear os manguezais na Baía de Guanabara. Anos mais tarde, PIRES (1992) propôs o monitoramento dos manguezais da APA de Guapi-Mirim através da observação de dados de radiância do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite LANDSAT.

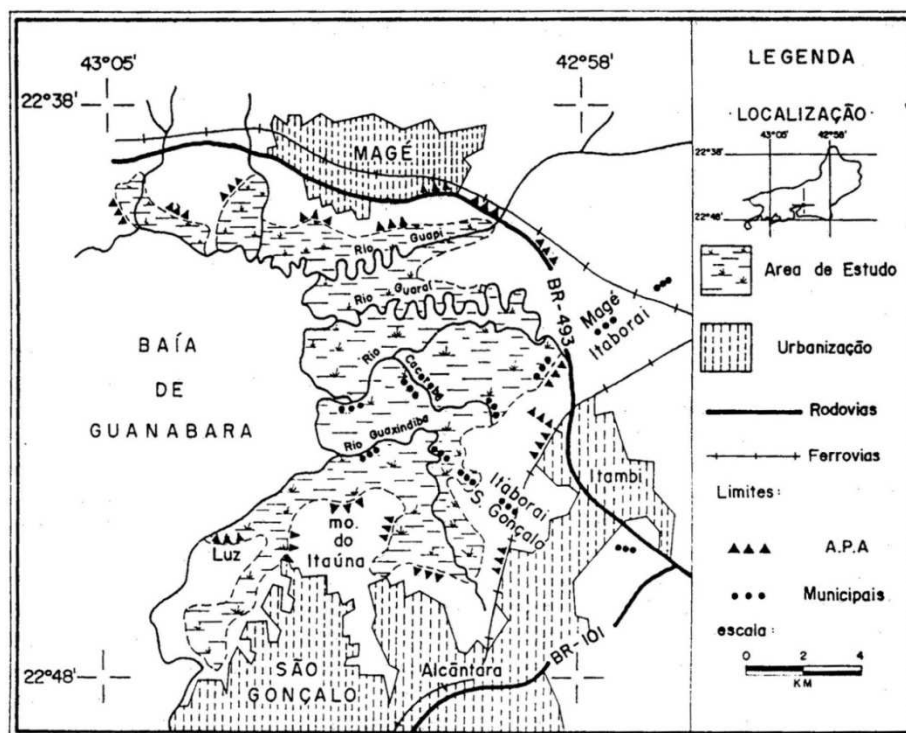


Figura 2.4 - Sistema de classificação, proposto por PIRES (1993), dos manguezais (o termo área de estudo refere-se ao manguezal).



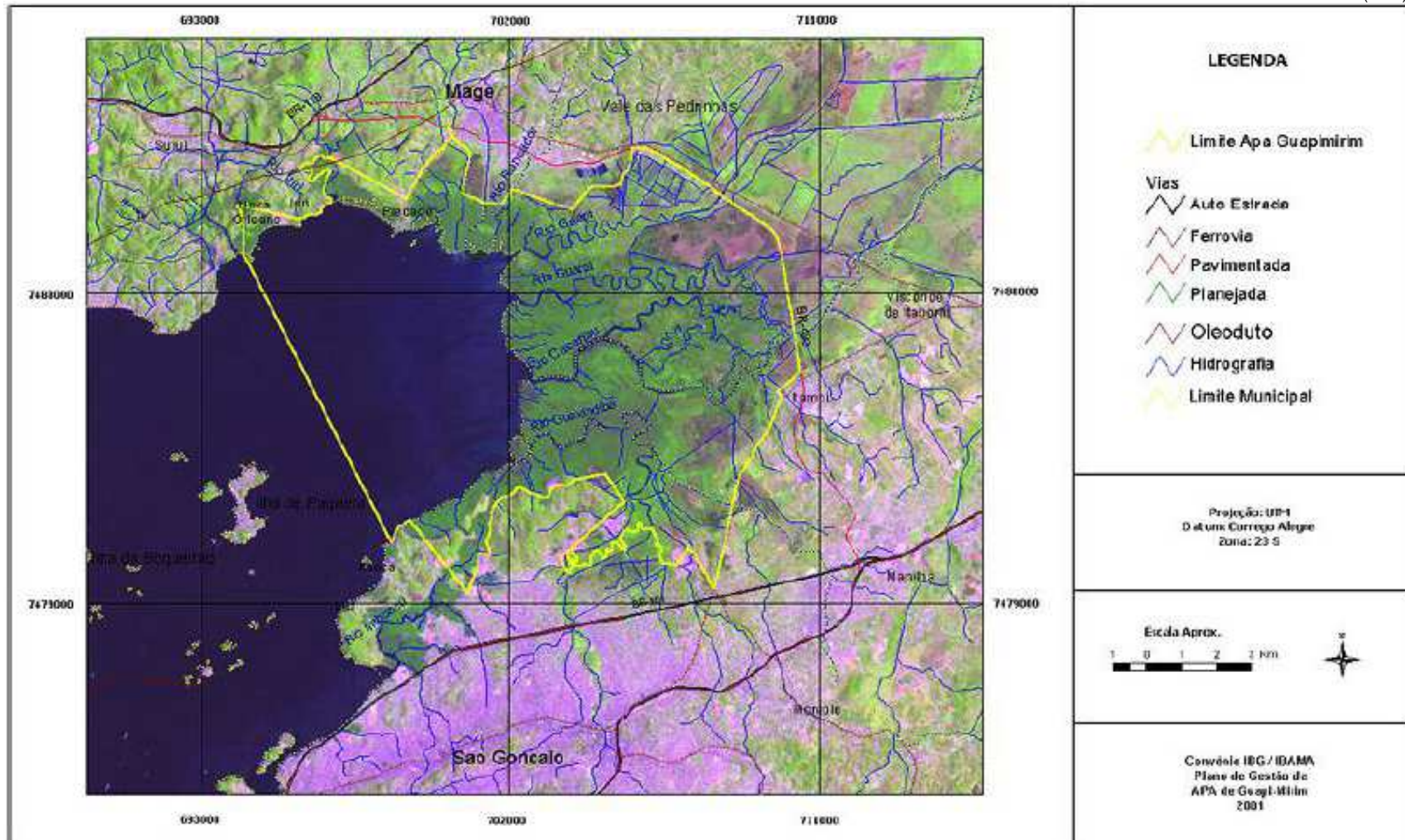
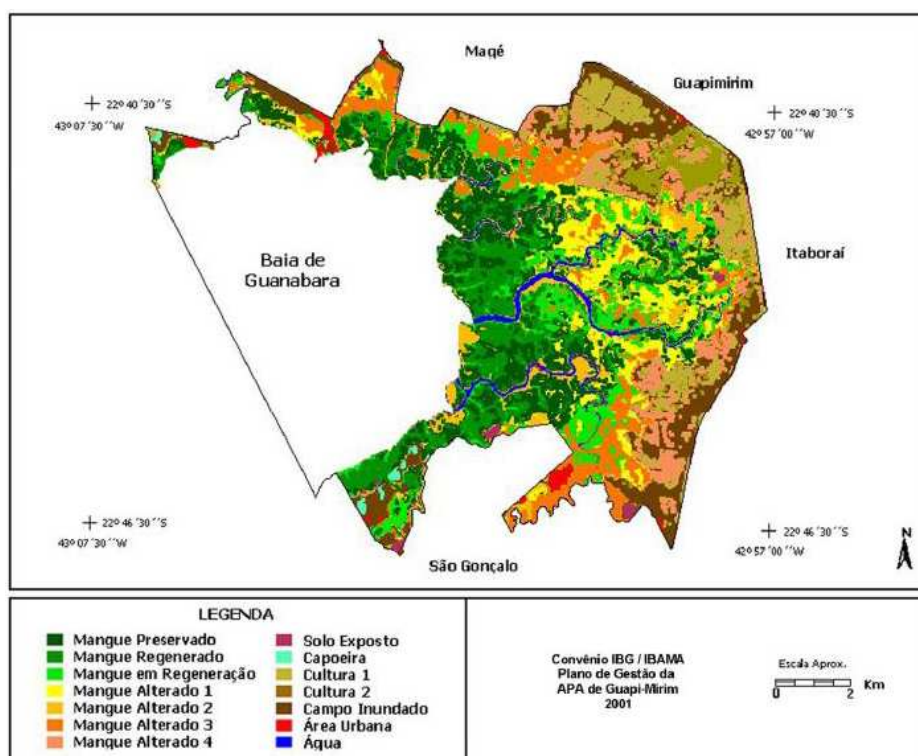


Figura 2.5 - Carta-Imagem da APA de Guapi-Mirim (imagem TM/LANDSAT-7 (278/76B), adquirida em janeiro de 2000. Composição colorida presumida: 5R4G2B).

PIRES (1993) elaborou posteriormente um sistema de classificação que utiliza análise visual e digital de imagens orbitais, interpretação de fotografias aéreas e trabalhos de campo. Como resultado, o citado autor obteve o mapa mostrado na Figura 2.4.

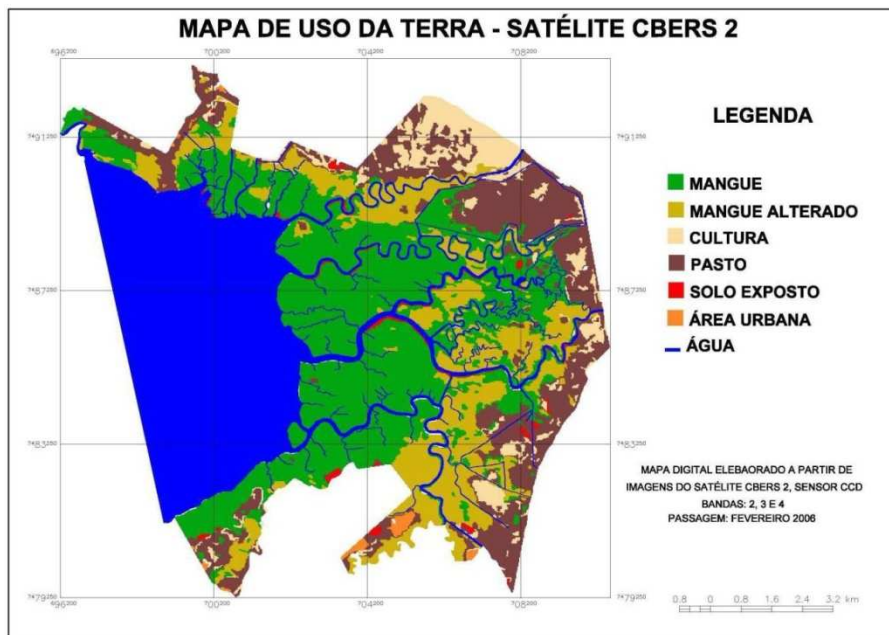
O mapeamento do uso e cobertura do solo para o Plano de Manejo da APA de Guapi-Mirim foi realizado por IBAMA & IBG (2001), com base em uma imagem TM/LANDSAT-7 (órbita/ponto 278/76B), adquirida em janeiro de 2000 (Figura 2.5).

Depois do processamento digital da imagem LANDSAT-7, foi realizada a classificação do uso e cobertura do solo da APA de Guapi-Mirim através do método de classificação supervisionada máxima verossimilhança. Como resultado, foram obtidas 14 classes de uso e cobertura do solo na APA de Guapi-Mirim (Figura 2.6). Este mapa também ganhou grande notoriedade no Relatório de Impacto Ambiental do COMPERJ, ao considerar a APA como meta de preservação pela Petrobras.



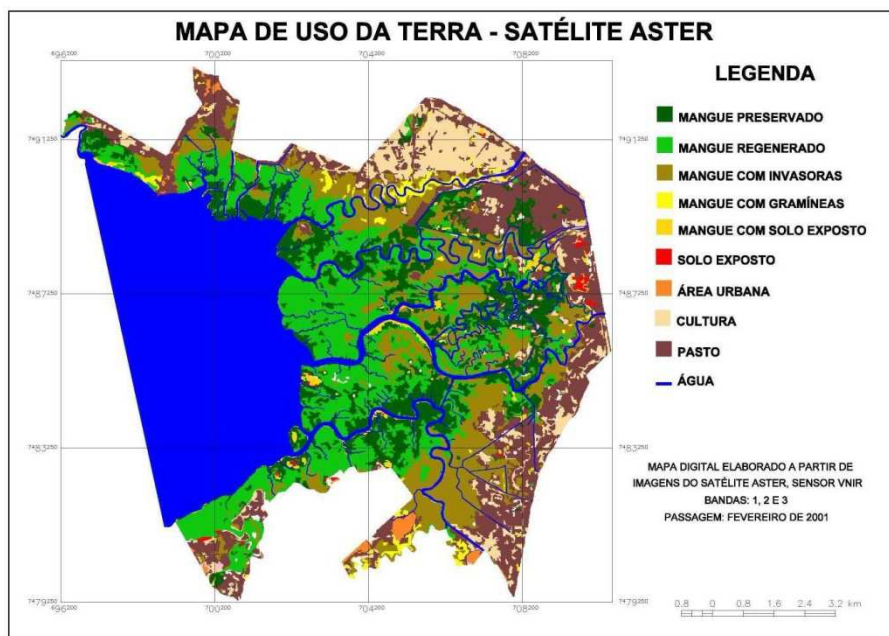
**Figura 2.6 - Mapa de Uso do Solo e da Cobertura Vegetal da APA de Guapi-Mirim exposto no Plano de Manejo da APA de Guapi-Mirim (IBAMA & IBG, 2001).**

Recentemente, REIS (2007) estudou o ecossistema de manguezais da APA de Guapi-Mirim. Neste estudo, o referido autor utilizou imagens orbitais do CBERS 2 e ASTER para mapear a APA em escalas macro (1:50.000) e meso (1:25.000), respectivamente. A Figura 2.7 mostra o mapeamento do uso da terra, obtida com a utilização de imagens CBERS 2, com resolução espacial de 20 metros.



**Figura 2.7 - Mapeamento do uso da terra em escala macro (1:50.000), obtido por classificação digital da imagem CBERS, elaborado por REIS (2007).**

De acordo com REIS (2007), o número de classes consideradas em cada mapeamento obedece o nível de detalhamento que cada imagem orbital permite, segundo sua resolução espacial. Para o mapeamento em escala meso, o autor utilizou a imagem ASTER, com resolução espacial de 15 metros. Desta forma, outras classes puderam ser discriminadas, como mostra a Figura 2.8.



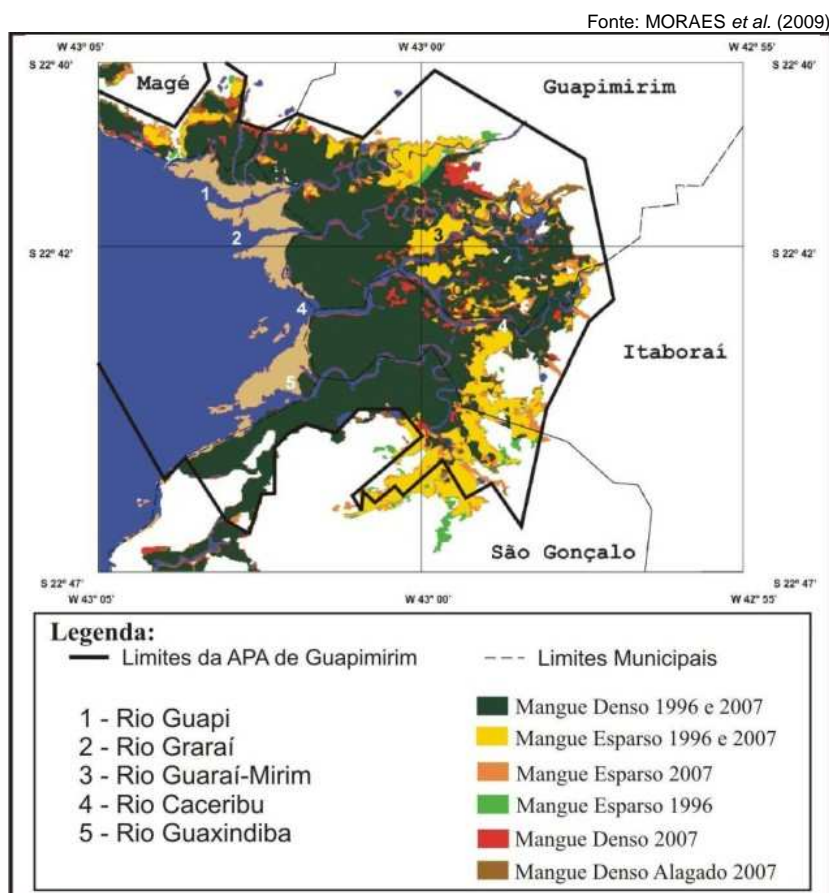
**Figura 2.8 - Mapeamento do Uso da Terra em escala meso (1:25.000), obtido por classificação digital da imagem ASTER, elaborado por REIS (2007).**



Finalmente, um grupo de pesquisadores do INPE publicou um artigo sobre análise multitemporal apenas da cobertura vegetal do tipo mangue na APA de Guapimirim. Foram empregadas, na pesquisa, imagens TM-LANDSAT dos anos de 1996 e 2007. Segundo MORAES *et al.* (2009), a seleção de polígonos de manguezal e demais áreas baseou-se em análise visual da imagem, na qual foram consideradas três classes distintas de mangue: Mangue Denso, Mangue Denso Alagado e Mangue Esparso (Figura 2.9). Foram ainda incluídas duas outras classes: Água e Terraços de Maré.

Os autores concluíram que o manguezal de Guapimirim apresentou sinais de recuperação relativa em um intervalo de 11 anos, a despeito dos diversos processos que ameaçam sua integridade. Essa situação pode indicar algum sucesso das políticas de gestão ambiental aplicadas à área, ou resultar da própria capacidade de regeneração do ecossistema.

MORAES *et al.* (2009) ressaltam a importância da execução de programas de monitoramento, englobando técnicas de Sensoriamento Remoto, para análise em larga escala e levantamentos complementares periódicos de campo.



**Figura 2.9 - Mapas de diferenças de classes registradas nos anos 1996 e 2007.**

## **CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Os municípios de Itaboraí e Guapimirim, particularmente, estão envolvidos em um processo de instalação de redes de infra-estrutura promovido pela construção no novo empreendimento liderado pela Petrobras – o COMPERJ. Diante da transformação da paisagem imposta por tal empreendimento, faz-se necessária a utilização de instrumentos de apoio capazes de acompanhar a evolução do processo, uma vez que a fiscalização *in loco* se torna onerosa, lenta e ineficaz diante da dinâmica espaço-temporal.

A ciência geográfica tem procurado incluir as geotecnologias, com o objetivo de automatizar e especializar suas análises. Neste sentido, o sensoriamento remoto aplicado à geografia oferece elementos que vão subsidiar a dinâmica espaço-temporal e ressaltar a importância de alvos, viabilizando, assim, o planejamento e a detecção de mudanças ocorridas na paisagem. Para tanto, existe uma série de possibilidades de imagens provindas de diferentes sensores e uma diversidade de processamentos que viabilizam a identificação de alvos, a montagem de bancos de dados e sua posterior atualização (SILVA, 2005). Esse aparato tecnológico fornece as bases funcionais para o monitoramento ambiental sistemático.

No presente trabalho, será utilizado o sensor IKONOS II, considerado pioneiro em produzir imagens de alta resolução espacial. Este sistema permite realizar mapeamentos e monitoramento no nível de detalhe recomendado para os ambientes intra-urbano e urbano. Contudo, sensores com alta resolução são úteis também para estudos de florestas, cerrados e manguezais, seja em escala regional ou local, gerando importantes subsídios para diversos temas de interesse, como o manejo sustentável de recursos naturais, a detecção de mudanças climáticas, a conservação da biodiversidade e o diagnóstico do estado de conservação de uma determinada espécie ou comunidade.

### **3.1 - Sensor IKONOS II**

O uso de sensores orbitais de alta resolução espacial foi limitado, durante muito tempo, apenas a aplicações militares (JACOBSEN, 2003). Isto mudou com a parceria das empresas Lockheed Martin Space Systems, ligada à indústria bélica norte-americana, e Raytheon Systems, as quais fundaram a Space Imaging, que colocou o satélite IKONOS II em órbita, em 24 de setembro de 1999. Desde então, as imagens geradas por este satélite são vendidas a indivíduos, organizações e instituições governamentais (DIAL *et al.*, 2002; SPACE IMAGING, 2006). As

características do satélite IKONOS II e das imagens por ele obtidas são sumariadas na Tabela 3.1.

Fonte: Adaptado; IKONOS Products Guide - SPACE IMAGING (1999)

**Tabela 3.1 - Características do Sensor IKONOS II**

<b>Data de Lançamento</b>	24 de setembro, 1999 Base da Força Aérea Vandenberg, Califórnia
<b>Inclinação / Órbita</b>	98,1° / Heliossíncrona
<b>Velocidade</b>	7,5 km/s
<b>Duração da Órbita</b>	98 minutos
<b>Altitude</b>	681 km
<b>Faixa Imageada</b>	11 x 11 km <sup>2</sup>
<b>Resolução Espacial</b>	26° Off-Nadir: 1,0 m (pancromática) 4,0 m (multiespectral)
<b>Capacidade de Aquisição de Imagem</b>	Faixas de 11km x 100km até 11km x 1000km Mosaicos de até 12.000 km <sup>2</sup> 20.000 km <sup>2</sup> de área imageada numa passagem
<b>Resolução Temporal</b>	2,9 dias no modo Pancromático (PAN) 1,5 dia no modo Multiespectral (MSI) <i>Esses valores valem para latitude de +/- 40°. A frequência de revisita para latitudes maiores será menor, e maior para as latitudes perto do Equador</i>
<b>Resolução Radiométrica</b>	11 bits por pixel
<b>Bandas Espectrais (µm)</b>	Pancromático (0,45 a 0,90), Vermelho (0,63 a 0,69), Verde (0,52 a 0,60), Azul (0,45 a 0,52) e Infravermelho Próximo (0,76 a 0,90)

Embora a resolução da banda pancromática do IKONOS seja mais refinada do que as demais, existe a possibilidade de fusão de imagens adquiridas no modo pancromático, de 1 m de resolução, com imagens multiespectrais (MSI) coloridas, de 4 m de resolução. São assim geradas imagens coloridas híbridas com 1m de resolução, combinando então as vantagens dos dois tipos de dados. Como o satélite adquire sistematicamente as imagens no modo PAN e MSI para todas as áreas, este produto pode ser gerado para todos os dados obtidos pelo IKONOS.

As imagens são fornecidas em arquivos digitais, com diferentes especificações, de acordo com as necessidades do usuário. A área recoberta na cena, de 11 por 11 quilômetros, estabelece uma relação custo-benefício muito mais favorável para cartas confeccionadas a partir de imagens. Os dados IKONOS são oferecidos segundo

diferentes níveis de processamento: Geo, Geo Orto, Reference, Map, Pro, Precision e o Precision Plus. A resolução espacial é sempre mantida com 1 metro no modo pancromático, ou 4 metros, no multiespectral. Porém, existem tratamentos diversos para atender finalidades distintas, e que correspondam também, a diferentes custos de comercialização (ISHIKAWA, 2001).

O presente trabalho utilizará imagens IKONOS Geo Ortho Kit, adequadas para usuários que necessitam de alta precisão posicional. O Geo Ortho Kit é um subconjunto da linha de produtos Geo, que permite controlar o processo de ortorretificação. Estas imagens incluem, como metadados, as características geométricas da visada da câmera no momento da aquisição. De acordo com a SPACE IMAGING (1999), as imagens de nível Geo Ortho Kit do IKONOS têm resolução espacial de 1 e 4 metros, com ângulo de elevação que varia de 60 a 90 graus. Para aumentar a precisão posicional da imagem ortorretificada final, o ângulo de elevação do IKONOS pode se restringir a valores entre 72 e 90 graus.

### 3.2 - Comportamento Espectral dos Alvos da Área de Estudo

O conjunto das medidas dos valores de reflectância de um alvo ao longo do espectro eletromagnético é definido como o seu comportamento espectral. Essas interações são determinadas pelas propriedades físicoquímicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens de sensores remotos que possuam a adequada resolução espectral (MORAES, 2002). Portanto, a energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres, em faixas específicas do espectro, é a base de todo o processo de interpretação, pois permite identificar feições de absorção características relacionadas às principais propriedades dos alvos.

Fonte: TENG (2009)

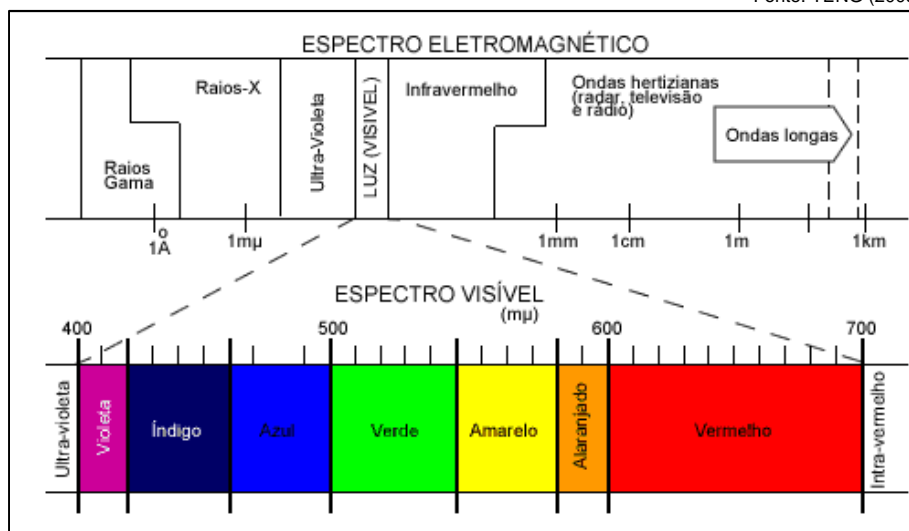
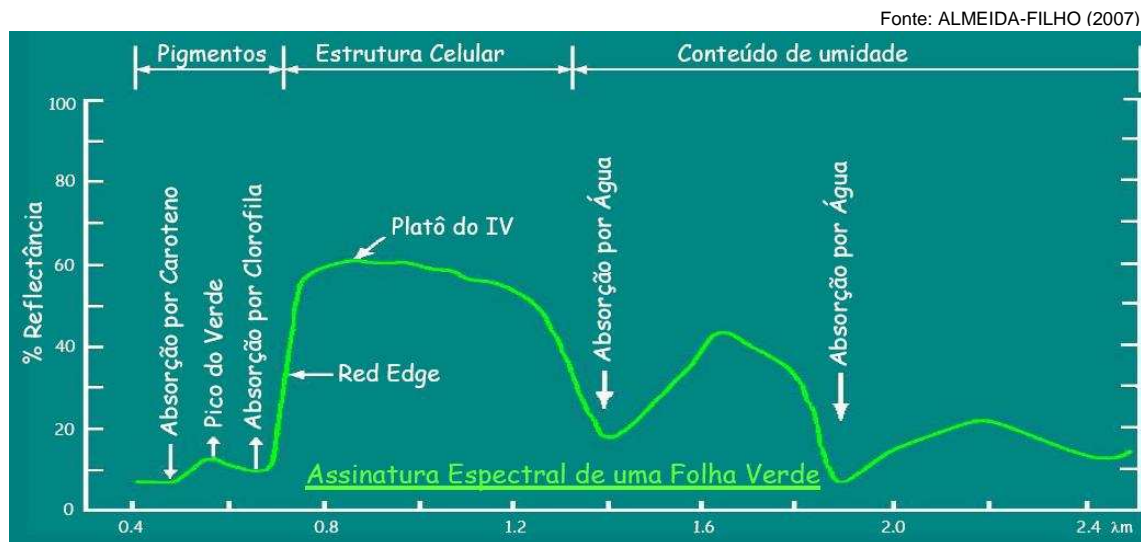


Figura 3.1 - Espectro eletromagnético

O conhecimento do comportamento espectral dos objetos terrestres é muito importante para a escolha da região do espectro sobre a qual se pretende adquirir dados para determinada aplicação. A área de estudo da presente dissertação possui a predominância de basicamente três grandes tipos de alvo: vegetação, água e solo exposto.

Segundo MOREIRA (1997), a maneira como a vegetação é vista, seja pelo olho humano ou através de sensor multiespectral, depende fundamentalmente de sua interação com a energia eletromagnética. O dossel vegetativo é constituído de folhas, caules, flores, dentre outros componentes. De acordo com COLWELL (1974), as folhas são os elementos da vegetação que mais contribuem para o sinal detectado pelos sensores óticos. Suas propriedades espectrais são condicionadas por sua composição química, morfológica e estrutural.

A vegetação apresenta alta absorção da energia eletromagnética na região do espectro visível, que é capturada pela clorofila para a realização da fotossíntese. Nesse intervalo espectral, a absorção é mais fraca na região correspondente ao verde, que caracteriza a coloração da vegetação. A alta reflectância no infravermelho próximo (até 1,3 $\mu$ m) é devida à estrutura celular; a partir deste comprimento de onda, é o conteúdo de água na vegetação que modula o comportamento espectral (MORAES, 2002). A Figura 3.2 ilustra o comportamento espectral de uma folha em vegetação sadia.



**Figura 3.2 - Assinatura espectral de uma folha verde, ou seja, sadia.**

No que se refere ao dossel, o arranjo das folhas influencia a interação da radiação eletromagnética com as plantas. Em particular, a fotossíntese e a sua produção são determinadas pelo espalhamento de luz dentro do dossel, o qual depende do azimute, da inclinação e da distribuição espacial das folhas (GOEL & STREBEL, 1984). De acordo com estes autores, são muitos os fatores que

determinam a refletância do dossel: fluxo solar incidente, propriedades espectrais dos elementos da vegetação (folhas, galhos, troncos), arquitetura do dossel e espalhamento pelo solo.

A água pode se apresentar na natureza em três estados físicos, os quais exibem comportamento espectral totalmente distinto. O comportamento espectral da água líquida pura apresenta baixa refletância (menor do que 10%) na faixa compreendida entre 0,38 e 0,7 $\mu$ m e máxima absorção acima de 0,7 $\mu$ m. O comportamento espectral de corpos d'água é modulado principalmente pelos processos de absorção e espalhamento produzidos por materiais neles dissolvidos ou em suspensão. Assim, é verificado que a presença de matéria orgânica dissolvida no meio aquoso desloca o máximo de refletância espectral para o verde-amarelo, enquanto que a de matéria inorgânica em suspensão causa um deslocamento em direção ao vermelho (MORAES, 2002).

O comportamento espectral dos solos é também dominado pelas bandas de absorção de seus constituintes. As combinações e arranjos dos materiais constituintes dos solos definem o seu comportamento espectral, sendo que os principais fatores são a constituição mineral, a matéria orgânica, a umidade e a granulometria (textura e estrutura) (ALMEIDA-FILHO, 2007). A Figura 3.3 mostra a influência da resposta espectral do solo em função do conteúdo de matéria orgânica, composição mineral e textura.

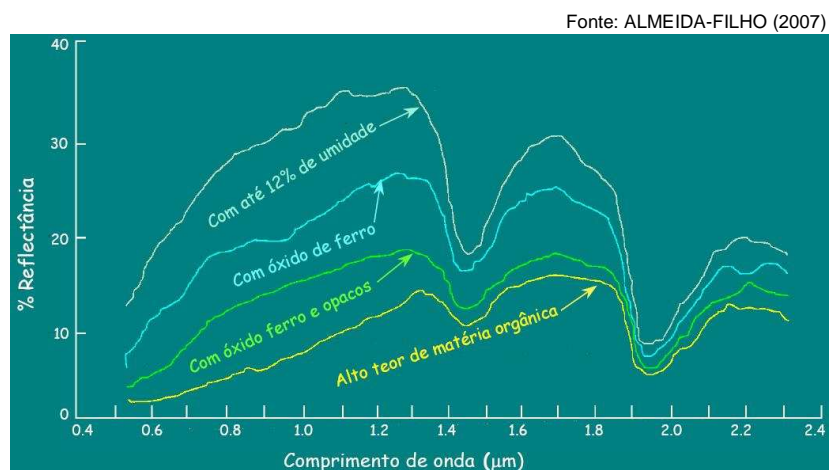


Figura 3.3 - Comportamento espectral do solo.

### 3.3 - Índices de Vegetação

O sensoriamento remoto tem se mostrado uma fonte importante de dados para estudos de vegetação. Dentre outras aplicações, destaca-se o uso dos índices de

vegetação, desenvolvidos para avaliar coberturas vegetais quantitativa e qualitativamente (HUETE, 1988; JACKSON & HUETE, 1991; FERRAZ, 2005). Estes índices têm sido empregados com sucesso no monitoramento e estudo temporal das mudanças na vegetação, em escalas regional, continental e global (BANNARI *et al.*, 1995; MORGAN *et al.*, 1997; FERRAZ, 2005).

Os índices de vegetação são formulados empiricamente para explorar o contraste espectral entre os valores de reflectância no vermelho e infravermelho próximo, observado em folhas verdes, de tal maneira que índices com elevados valores são indicativos de uma alta probabilidade de que o alvo observado contenha vegetação verde sadia (LEBLON *et al.*, 1993; LEPRIEUR *et al.*, 1994; GRAÇA, 2004).

O *Ratio Vegetation Index*, de ROUSE *et al.* (1973), foi o primeiro e mais simples índice a ser proposto, o qual considera simplesmente a divisão entre as reflectâncias do infravermelho próximo e do vermelho. Contudo, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), também introduzido por ROUSE *et al.* (1974), é o mais utilizado na determinação dos parâmetros biofísicos da vegetação, sendo definido por:

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{nir}} - \rho_{\text{red}}) / (\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{red}}), \quad \text{EQ. 3.1}$$

onde:

$\rho_{\text{nir}}$  - valor de reflectância da banda espectral do infravermelho próximo;

$\rho_{\text{red}}$  - valor de reflectância da banda espectral do vermelho.

Esse índice expressa a diferença entre as bandas do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma de suas bandas e realça a presença de vegetação na imagem analisada (ACCO, 2004). Tal formulação produz escalas de medidas lineares e problemas com divisão por zero são minimizados. A escala de medida tem a propriedade de variar de -1 a +1, com o zero indicando valor sem vegetação (por exemplo solos expostos ou áreas construídas).

LYON *et al.* (1998) avaliaram alterações no uso da terra e na cobertura vegetal pela técnica de detecção de mudanças usando índices de vegetação na região de Chiapas, no México. Foram comparados sete índices de vegetação (DVI, NDVI, PVI, RVI, SARVI, SAVI, TSAVI), a partir de dados de MSS Landsat, para três datas diferentes. Dentre estes índices, o NDVI foi o que apresentou melhores resultados na detecção de mudanças da vegetação, sendo menos afetado por fatores topográficos. O NDVI permitiu detectar áreas desmatadas e a perda de vegetação resultante de incêndios, construção de reservatórios e atividades agrícolas (GRAÇA, 2004).

Outro índice que merece destaque por diferenciar corpos d'água livres de superfícies com cobertura vegetal é o *Ratio Vegetation Index* (RVI), proposto por RICHERDSON & WIEGAND (1977), que é expresso pelo inverso da razão proposta por ROUSE *et al.* (1973), ou seja:

$$RVI = \rho_{red} / \rho_{nir} \quad \text{EQ. 3.2}$$

Valores menores que 1.0 representam cobertura vegetal, enquanto que os maiores que a unidade são relacionados a áreas desprovidas de vegetação.

### **3.4 - Novas Concepções de Interpretação**

As novas imagens de sensoriamento remoto com altíssima resolução trazem problemas devido ao volume de dados a serem trabalhados, bem como ao seu nível de detalhe. Se, por um lado, o problema de *pixels* mistos é minimizado, do outro, houve expressivo aumento da variabilidade e do ruído dentro de classes quase homogêneas (SCHIEWE *et al.*, 2001). Neste caso, as concepções convencionais de classificação de imagem baseadas em *pixels* ficam próximas dos seus limites de desempenho e, com isso, aumenta a demanda de novos métodos de classificação. Tal fato é relevante, visto que o desenvolvimento dos sensores está voltado cada vez mais para uma resolução geométrica progressivamente aprimorada (NEUBERT & GOTTHARD, 2007).

Para satisfazer os novos desafios com a interpretação de imagens dos sensores de alta resolução espacial, são necessárias concepções inovadoras orientadas não somente para níveis de cinza, mas que considerem a forma dos objetos e as relações de vizinhança como características igualmente importantes dos alvos. Uma solução para esse problema pode ser fornecida por novos métodos de classificação, como, por exemplo, a segmentação de imagens, redes neurais ou conjunto *fuzzy* (BLASCHKE *et al.*, 2000). Dentre esses métodos, a segmentação orientada a objeto vem ganhando maior notoriedade nos últimos anos, pois permite a intervenção do especialista na manipulação de parâmetros tais como cor, forma, textura e contexto.

#### **3.4.1 Interpretação de Imagens Baseada em Conhecimento**

A interpretação de imagens baseada em conhecimento é efetuada com o objetivo de reconhecer objetos e lhes associar um significado. Esse procedimento subdivide-se em duas vertentes: a segmentação de imagens, que extrai regiões com certo grau de homogeneidade, constituindo um objeto, e o processamento simbólico, que associa a estes objetos um significado específico, fundado em suas



características. Tal abordagem permite também gerar objetos de nível superior, levando-se em conta as relações entre as regiões (PAHL, 2003).

Este conceito de interpretação abre um novo horizonte para a extração automática de informações de imagem de sensores remotos. Enquanto algoritmos de classificação têm como objetivo distinguir grupos de *pixels* com características semelhantes, os quais muitas vezes não se traduzem em objetos reais, na abordagem baseada em conhecimento, o objetivo é identificar objetos que têm uma existência concreta no mundo real e que expressam características de cor, forma, textura padrão e contexto na imagem analisada (PINHO, 2005).

A partir deste conceito, foram desenvolvidos códigos computacionais voltados para classificação de imagens que têm por base sua segmentação em *objetos* de interesse, numa perspectiva hierárquica de relações espaciais. A unidade mínima de análise é o *objeto*, no qual são realizadas operações de classificação baseadas em regras, construídas a partir dos diversos atributos destes mesmos *objetos*, tais como cor, forma, hierarquia, textura e contexto espacial.

### **3.5 - Abordagem Orientada a Objeto**

A utilização do conceito de *objeto* é crucial em classificações de imagens quando se deseja um nível de detalhamento próximo às feições do mundo real, pois a informação semântica necessária para sua interpretação não está contida no *pixel* e sim nos objetos nelas presentes e nas relações entre eles (ESTEVAM, 2006).

A abordagem orientada a objeto procura a classificação da informação nos dados de sensoriamento remoto a partir da formalização de relações estabelecidas entre as entidades encontradas, entendendo-se a imagem como um espaço próprio de construção e representação da realidade. A classificação é assim entendida como um produto não apenas da delimitação de fronteiras de “corpos” singulares e homogêneos, mas sim como o resultado do entendimento de novas concepções de espaço com diferentes propriedades e objetos (ENCARNAÇÃO *et al.*, 2005).

Segundo os autores acima citados, para realizar esse tipo de abordagem, é necessário pensar em duas etapas: a percepção e a tomada de decisão. A primeira é a fase em que o intérprete identifica formas, texturas, cores e padrões de organização, formulando então a estrutura do método para interpretação da imagem. A segunda baseia-se na definição das funções que melhor associam cada objeto a uma determinada classe. A função é a simplificação semântica do objeto entendido como um todo, determinada pelas partes constituintes desse mesmo objeto.

### **3.6 - Procedimento de Segmentação**

A segmentação é um importante processo na análise de dados de sensoriamento remoto. Tal processo consiste em subdividir uma imagem em regiões homogêneas e não sobrepostas, considerando algumas de suas características intrínsecas, como, por exemplo, o nível de cinza dos pixels e a textura, que são representativas dos objetos presentes na cena (MACOMBER & WOODCOCK, 1994). Existem diversos algoritmos de segmentação de imagens, os quais podem ser divididos em três grupos: Segmentação por Descontinuidade, Segmentação por Similaridade e Segmentação Multi-Resolução (MEINEL & NEUBERT, 2002).

#### **3.6.1 Segmentação por Descontinuidade**

Os algoritmos baseados na descontinuidade dividem a imagem em segmentos, levando em consideração as mudanças bruscas nos níveis de cinza, permitindo a identificação de bordas e limites (GONZALEZ & WINTZ, 1987). Entretanto, para que isso seja possível, é necessário que se defina um limiar. Assim, ao se encontrar um pixel com um valor superior ao mesmo, tem o início a detecção da borda. Dentro desta ótica, uma imagem binária é gerada com valores 1, referente à borda, e 0, correspondente às regiões que não constituem bordas. Esta imagem binária, por sua vez, é rotulada de forma que as regiões com valores 0 sejam limitadas pelas regiões com valores 1 (NASCIMENTO & ALMEIDA, 1996; OLIVEIRA & SILVA, 2005).

#### **3.6.2 Segmentação por Similaridade**

A técnica de segmentação baseada no método de similaridade ou crescimento de regiões é uma das mais utilizadas, pois permite extrair um conjunto mais rico de atributos e de selecionar amostras mais representativas de cada classe (KAI & MULLER, 1991).

De acordo com KAI & MULLER (1991), esta segmentação particiona as imagens em regiões homogêneas, onde cada uma contém um único rótulo. Tal técnica é desenvolvida a partir de um “*pixel-semente*”, que agrupa os *pixels* vizinhos com características semelhantes e que satisfazem um certo critério de similaridade. O crescimento continua até que são encontrados *pixels* que não se adaptam ao critério de similaridade. Uma nova região então se inicia, cuja medida inicial é o valor do novo “*pixel-semente*”.

### 3.6.3 Segmentação Multi-Resolução

BAATZ & SCHÄPE (2000) propuseram um novo algoritmo de segmentação, denominado segmentação multi-resolução de crescimento por regiões (*Fractal Net Evolution* - FNEA).

A técnica multi-resolução consiste na divisão da imagem em diferentes níveis de detalhamento, dando origem a diferentes escalas de segmentação. Neste processo, o procedimento de agrupamento dos pixels é similar ao utilizado na técnica de crescimento de regiões. No entanto, a segmentação multi-resolução considera não só os parâmetros espectrais, como também a forma dos segmentos no momento do agrupamento (SCHIEWE *et al.*, 2001).

Assim, o que se procura com a segmentação da imagem são regiões homogêneas, segundo um critério pré-determinado, que busque a semelhança em forma do objeto real com uma dada região que o represente. Na verdade, apesar dos critérios de homogeneidade presentes no algoritmo de segmentação incluírem parâmetros de escala, cor e forma, o que se procura é sempre uma aproximação do contorno do objeto da imagem com aquele do objeto real.

O ajuste no parâmetro de escala influencia diretamente no tamanho dos segmentos gerados. Além disso, a relevância de cada banda espectral, bem como a importância relativa entre forma e cor e entre compactação e suavidade, podem ser ajustadas por intermédio dos parâmetros do algoritmo.

#### 3.6.3.1 Algoritmo de Segmentação Multi-Resolução

O algoritmo de segmentação multi-resolução é um procedimento iterativo de otimização local, que minimiza a heterogeneidade média dos segmentos gerados. A medida de heterogeneidade usada no algoritmo possui um componente espacial e um componente espectral. A heterogeneidade espectral é definida pelos valores das respostas espectrais dos *pixels* contidos num segmento.

De acordo com BAATZ & SCHÄPE (2000), a segmentação da imagem envolve o valor do *pixel* e de seus vizinhos, obedecendo os critérios de cor ( $h_{color}$ ) e forma, também chamado de espacial, ( $h_{shape}$ ). Estes critérios são utilizados para criar objetos na imagem tendo em vista a homogeneidade relativa dos *pixels*, com base na chamada função de segmentação ( $S_f$ ):

$$S_f = w_{color} \cdot h_{color} + (1 - w_{color}) \cdot h_{shape} , \quad \text{EQ. 3.3}$$

onde o peso do valor espectral versus forma é  $0 < w_{color} < 1$ . Assim, se o usuário necessita enfatizar as características espectrais em detrimento das características de forma no processo de segmentação, basta aumentar o peso relativo à cor ( $w_{color}$ ).

A heterogeneidade espectral de um objeto de imagem (segmento) é proporcional à média ponderada do desvio padrão de cada banda ( $\sigma_k$ ) multiplicada pelo peso da respectiva banda ( $w_k$ ):

$$h = \sum_{k=1}^m w_k \cdot \sigma_k , \quad \text{EQ. 3.4}$$

onde  $m$  é o número de bandas espectrais.

A equação abaixo mostra a formulação de heterogeneidade espectral, onde  $Ob_1$  é o segmento selecionado,  $Ob_2$  o vizinho analisado e  $Ob_3$  o segmento resultante da união de  $Ob_1$  com  $Ob_2$ . Nessa equação,  $k$  é o índice da banda espectral e  $w_k$  um peso arbitrário definido para a banda  $k$ . O parâmetro  $\sigma_k^{obi}$  representa o desvio padrão dos valores dos pixels na banda  $k$ , considerando todos aqueles pertencentes ao segmento  $Ob_i$ . Finalmente,  $n_{obi}$  é o número de pixels em  $Ob_i$ , para  $i=1,2,3$  (DEFINIENS AG, 2003). Assim,

$$h = \sum_{k=1}^m w_k \left[ n_{ob3} \cdot \sigma_k^{ob3} - \left( n_{ob1} \cdot \sigma_k^{ob1} + n_{ob2} \cdot \sigma_k^{ob2} \right) \right] \quad \text{EQ. 3.5}$$

A heterogeneidade espacial baseia-se em dois atributos: *compactação* e *suavidade*. O grau de compactação ( $cpt$ ) é definido como a razão entre o perímetro do segmento ( $l$ ) e a raiz quadrada de sua área ( $n$ ). A suavidade ( $smooth$ ) é definida como a razão entre o perímetro do objeto ( $l$ ) e o perímetro do retângulo envolvente mínimo ( $b$ ).

$$cpt = \frac{l}{\sqrt{n}} \quad \quad \quad smooth = \frac{l}{b} \quad \text{EQ. 3.6}$$

O critério de forma incorpora estas duas medições usando a equação (DEFINIENS AG, 2003):

$$h_{shape} = w_{cpt} \cdot h_{cpt} + (1 - w_{cpt}) \cdot h_{smooth} , \quad \text{EQ. 3.7}$$

onde o peso da compactação é  $0 \leq w_{cpt} \leq 1$ .

A mudança na heterogeneidade da forma causada pela junção de segmentos é avaliada através do cálculo da diferença entre a situação antes e depois da união dos objetos de imagem (*Obi*). Isso resulta no seguinte algoritmo para cálculo de compactidade e suavidade (DEFINIENS AG, 2003):

$$h_{cpt} = n_{obi} \cdot \frac{l_{obi}}{\sqrt{n_{obi}}} - \left( n_{ob1} \cdot \frac{l_{ob1}}{\sqrt{n_{ob1}}} + n_{ob2} \cdot \frac{l_{ob2}}{\sqrt{n_{ob2}}} \right) \quad \text{EQ. 3.8}$$

$$h_{smooth} = n_{obi} \cdot \frac{l_{obi}}{b_{obi}} - \left( n_{ob1} \cdot \frac{l_{ob1}}{b_{ob1}} + n_{ob2} \cdot \frac{l_{ob2}}{b_{ob2}} \right) \quad \text{EQ. 3.9}$$

Para melhor entendimento do processo de segmentação, PINHO (2005) elaborou um quadro de relação entre objetos hipotéticos (Figura 3.4), todos formados por 16 *pixels* com resolução de 1m. Além disso, estão incluídos os respectivos valores de compactidade e suavidade. De acordo com a autora, a partir da análise desta figura, conclui-se que a compactidade é um atributo que representa o quão agrupados estão os *pixels* de um determinado objeto. A suavidade dá uma idéia do grau de irregularidade do contorno de um objeto. Por intermédio desta tabela, conclui-se também que quanto mais compacto um objeto e mais suave a sua borda, menores serão os valores de compactidade e suavidade.






















Objeto	representação gráfica de $l$	representação gráfica de $b$	$l$ (m)	$b$ (m)	$n$ (nº de pixels)	Área (m <sup>2</sup> )	Compacidade	Suavidade
			16	16	16	16	4,000	1,000
			26	22	16	16	6,500	1,182
			20	20	16	16	5,000	1,000
			24	22	16	16	6,000	1,099
			30	26	16	16	7,500	1,154
			34	24	16	16	8,500	1,417
			50	36	16	16	12,500	1,389

Figura 3.4 - Quadro comparativo dos atributos de compacidade e suavidade entre objetos hipotéticos.

### 3.6.3.2 Rede Hierárquica

A segmentação multiresolução da imagem cria uma rede topológica dos objetos. A variação do parâmetro escala permite a construção de uma rede hierárquica, na medida em que os objetos construídos têm relações espaciais com os objetos vizinhos, com os objetos que os compõem (sub-objetos) e com objetos de que fazem parte (super-objetos) (ENCARNAÇÃO, 2004).

Existe, assim, para uma mesma imagem, a capacidade de trabalhar com diferentes escalas de percepção espacial, permitindo a extração de informação com diferentes níveis de detalhe. Dois níveis de objeto já são suficientes para construir uma rede de hierarquia. Desta forma, a construção dos níveis superiores (super-objetos) pode obedecer aos objetos já construídos (sub-objetos), ou seja, como os super-objetos resultam da fusão dos seus sub-objetos, os limites dos primeiros serão determinados pelos últimos.

A Figura 3.5 mostra a representação da estrutura hierárquica acima descrita.

Fonte: DEFINIENS AG. (2003)

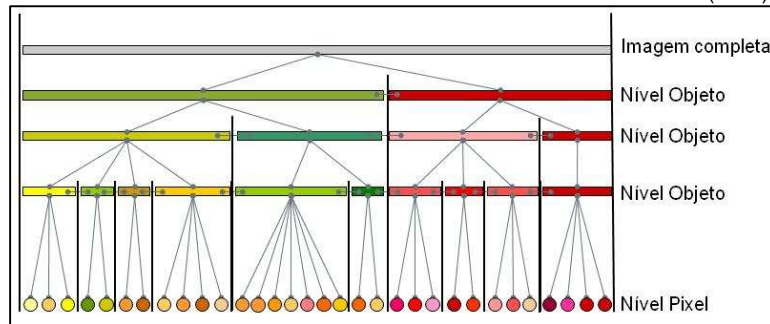


Figura 3.5 - Princípio da rede hierárquica de objetos extraída a partir de *pixels* da imagem.

### 3.7 - Classificação de Imagens

Um dos principais objetivos das técnicas de sensoriamento remoto é conseguir distinguir e identificar as feições correspondentes aos diferentes materiais que compõem a superfície da Terra. Tal tarefa pode ser realizada a partir de algoritmos de classificação de imagens digitais, cujo objetivo é associar seus elementos (*pixels*) a classes que contenham características semelhantes ou comuns (LIMA, 2008). Essa abordagem também pode ser aplicada considerando objetos como os elementos constituintes das imagens.

Segundo SCHIEWE *et al.* (2001), estes algoritmos podem ser divididos em três grupos: o da classificação “*pixel a pixel*”, o da classificação baseada em segmentos e o da classificação orientada a objeto.

#### 3.7.1 Classificação “*Pixel a Pixel*”

A classificação “*pixel a pixel*” utiliza a informação espectral de cada *pixel* para achar regiões homogêneas (SPRING, 2009). Neste tipo de classificação, é utilizada a informação espectral de cada *pixel* isolado para associá-lo a uma classe. Desta forma, a informação espectral do *pixel* é comparada com o valor espectral médio de cada classe, sendo o *pixel* associado à classe que possui o valor espectral mais próximo do seu, segundo determinados critérios estatísticos ou determinísticos (SCHIEWE *et al.*, 2001). Cada *pixel* de uma banda possui uma correspondência espacial com um outro *pixel* em todas as outras bandas, ou seja, para uma imagem de  $K$  bandas, existem  $K$  níveis de cinza associados a cada *pixel*, sendo um para cada banda espectral (CURRAN, 1995).

Com o aparecimento de sensores remotos de alta resolução, a tradicional classificação “*pixel a pixel*”, não se mostrou eficaz, pois o alto grau de detalhe destas imagens realça variações espectrais entre os objetos que antes, com resolução espacial menor, não são observadas (CENTENO & CAVASSIM JUNIOR, 2003).

### 3.7.2 Classificação Baseada em Segmentos

A classificação baseada em segmentos, também conhecida como classificação por regiões, utiliza, além da informação espectral de cada *pixel*, a informação espacial que envolve a relação com seus vizinhos. Essa abordagem, procura simular o comportamento de um fotointérprete, reconhecendo áreas homogêneas de imagens e considerando suas propriedades espectrais e espaciais. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar regiões; as propriedades espaciais e espectrais unem áreas com mesma textura (SPRING, 2009).

### 3.7.3 Classificação Orientada a Objetos

Para BLASCHKE & KUX (2007), uma grande revolução no processamento digital de dados de sensoriamento remoto vem ocorrendo, principalmente devido às elevadas resoluções espaciais, que exigem um novo tipo de processamento, além da observação centrada nos *pixels*. Ao invés de classificar os *pixels* individualmente quanto às suas características espectrais, os novos procedimentos consideram a delimitação de objetos com características espectrais (ou radiométricas) homogêneas como base para o processamento posterior. A classificação passa a considerar informações extraídas desses objetos, como resposta espectral média, variância, dimensões, forma e textura.

Para se trabalhar com este tipo de classificação, é necessário que, primeiramente, a imagem seja segmentada, onde cada segmento representará um objeto a ser classificado. Neste ponto, tal técnica em nada difere da classificação baseada em segmentos descrita anteriormente (MEDINA, 2007).

Todavia, no caso da classificação orientada a objetos, a estratégia básica é a construção de uma rede hierárquica através da segmentação multi-resolução. Assim, é possível representar a informação contida na imagem em diferentes resoluções. Tal rede hierárquica de objetos torna viável, então, associar a cada um dos segmentos uma informação de contexto (BAATZ & SCHÄPE, 2000).

#### 3.7.3.1 Sistema de Classificação Hierárquica

De acordo com BAATZ & BENZ (2003), um sistema de classificação hierarquicamente estruturado permite o desenvolvimento de três tipos de relações:

- *Inheritance* - A herança de hierarquia de classes se refere às relações físicas entre as classes. Aqui, as descrições de classe definidas pelas classes-pais são passadas para suas classes-filho. Este aspecto contribui para diferenciar uma classe-pai, que pode representar florestas em geral,















por exemplo, em duas classes mais específicas (classes-filhas), como floresta nas zonas rurais e urbanas. Tal relação ajuda a reduzir consideravelmente o número necessário de entrada na descrição de classes;

- *Groups* – A hierarquia de grupos se refere à relação semântica de classes. Uma classe pode fazer parte de um ou mais grupos semânticos. O objetivo é criar uma combinação prévia de classes separadas por significado semântico comum;
- *Structures* - O terceiro módulo é baseado nas estruturas de classes, apresentando algumas semelhanças com o módulo *Groups*. Porém, seu objetivo é possibilitar o melhoramento da segmentação.

Fonte: DEFINIENS AG (2007a)

Tabela 3.2 - Funções de Pertinência

Forma da Função	Descrição
	Larger than
	Smaller than
	Larger than (Boolean, crisp)
	Smaller than (Boolean, crisp)
	Larger than (linear)
	Smaller than (linear)
	Linear range (triangle)
	Linear range (triangle inverted)
	Singleton (exactly one value)
	Approximate Gaussian
	About range
	Full range

Vale registrar que o comportamento dos atributos demandado pode ser descrito por uma função que determina o intervalo de pertinência. A idéia básica é substituir as declarações estritamente lógicas **Sim** e **Não** por uma série contínua no intervalo [0 ... 1], onde 0 significa **Exatamente Não** e 1 significa **Exatamente Sim**. Todos os valores entre 0 e 1 representam mais ou menos o estado de certeza entre o **Sim** e o **Não** (DEFINIENS AG, 2007a). Desta forma, a classificação baseada em funções *fuzzy* transforma os valores de atributos de um intervalo arbitrário para um intervalo padronizado entre zero e um, indicando a pertinência de um objeto a uma

classe específica. Cada objeto pode ter uma pertinência *fuzzy* a mais de uma classe, expressa pelo seu grau adequação a cada uma delas (BLASCHKE *et al.*, 2000). A Tabela 3.2 mostra uma lista de funções pré-definidas oferecida pelo *software* Definiens.

Depois de definidos os objetos pela segmentação e suas respectivas hierarquias, o processo de classificação é efetuado por meio de regras de decisão. Dois fatores devem ser aqui levados em consideração: quais atributos serão utilizados para diferenciar cada classe e qual tipo de regra de decisão será adotada para cada classe (PINHO, 2005). As funções exibidas na Tabela 3.2 são aplicadas sobre atributos dos objetos de imagem, os quais estão organizados em três grupos como mostra a Tabela 3.3. Ressalta-se que ainda é possível a criação de novos atributos a partir de outros existentes, como, por exemplo, criar índices de vegetação ou razões entre bandas.

Fonte: DEFINIENS (2003) in PINHO (2005)

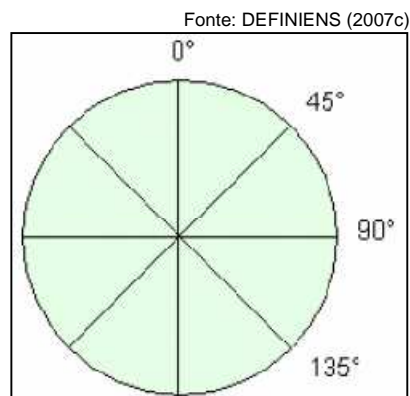
**Tabela 3.3 - Grupo de atributos da imagem.**

<b>Grupo de Atributos</b>	<b>Sub-Grupo</b>	<b>Atributos</b>
Atributo dos Objetos	<b>Valores das Bandas</b>	Média, Desvio Padrão
	<b>Forma</b>	Tamanho, comprimento, relação área/perímetro
	<b>Textura</b>	Haralick <i>et al.</i> (1973) ou baseada na média do tamanho dos sub-objetos.
	<b>Hierarquia</b>	Indica o posicionamento no nível hierárquico
	<b>Atributos Temáticos</b>	Tipos de uso do solo
Atributos Relacionados a Classes	<b>Relações com os objetos vizinhos</b>	Distância de um objeto em relação a outro de uma determinada classe
	<b>Relação com sub-objetos</b>	Área total dos sub-objetos de uma determinada classe
	<b>Relação com super-objetos</b>	Existência de uma classe específica de super-objetos
	<b>Pertinência a</b>	Valor da função de pertinência Fuzzy de cada objeto
	<b>Classificado como</b>	Classe para o qual um objeto foi classificado
	<b>Valor de classificação de</b>	Valor de pertinência para uma classe específica
Atributos Globais	<b>Relacionados com a cena globalmente</b>	Média total de uma determinada banda
	<b>Relacionados com uma classe globalmente</b>	Área total de todos os objetos de uma determinada classe em todos os níveis
	<b>Similaridade a uma determinada classe</b>	Define que a descrição de uma classe é idêntica à de outra classe

Os atributos de objetos mais utilizados são os espectrais (valores das bandas), forma e textura. A seguir, é apresentada uma descrição sucinta de cada um destes:

- Espectrais: Referem-se ao conjunto de bandas espectrais que constituem a imagem ou ao resultado de operações entre bandas que contribuem para a discriminação de objetos através de suas propriedades de cor (ROCHA, 2007);
- Forma: Em termos visuais, a forma é um dos elementos mais importantes para interpretação de imagens digitais, sendo uma variável que permite percepção associativa dos objetos da imagem (ANTUNES, 2003). A forma refere-se a propriedades geométricas dos objetos, que representam um grande potencial discriminatório em imagens de alta resolução em cenários urbanos. Também auxiliam a identificação de ruas e rios em escalas maiores, devido à sua conformação longelínea (ROCHA, 2007);
- Textura: A classificação baseada na textura leva em conta o contexto espacial do *pixel*. A grande vantagem do uso da textura é contribuir como um atributo para a própria classificação da imagem. Uma das técnicas mais comuns de quantificar a textura é através do uso da *Grey-level co-occurrence matrix* (GLCM) ou a matriz de dependência espacial (HARALICK, 1979 in JENSEN, 1982). Nesta matriz ( $N \times N$  *pixels*) é calculada a separação espacial de um *pixel* relativamente a um outro de referência.

De acordo com DEFINIENS AG (2007c), a Matriz de Co-ocorrência de Níveis de Cinza (GLCM) é a tabulação da frequência de ocorrência de diferentes combinações de níveis de cinza na imagem. Existe uma diferente matriz de co-ocorrência para cada relacionamento espacial. A matriz pode ser calculada para as direções ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  e todas), como mostra a Figura 3.6.



**Figura 3.6 - Direção de cálculo da matriz de Co-ocorrência de Níveis de Cinza (GLCM).**

Após o cálculo da matriz, podem ser determinados vários parâmetros de textura, como:

$$\text{GLCM Homogeneidade: } \sum_{i,j=0}^{N-1} \frac{P_{i,j}}{1 + (i - j)^2} \quad \text{EQ. 3.10}$$

$$\text{GLCM Contraste: } \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (i - j)^2 \quad \text{EQ. 3.11}$$

$$\text{GLCM Dissimilaridade: } \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} |i - j| \quad \text{EQ. 3.12}$$

$$\text{GLCM Entropia: } \sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j} (-\ln P_{i,j}) \quad \text{EQ. 3.13}$$

$$\text{GLCM Média: } \mu_{i,j} = \frac{\sum_{i,j=0}^{N-1} P_{i,j}}{N^2} \quad \text{EQ. 3.14}$$

onde:

$i$  = número de linhas;

$j$  = número de colunas;

$P_{i,j}$  = valor normalizado na célula  $i, j$ ;

$N$  = número de linhas ou colunas.

### 3.8- Análise do Erro de Classificação

Segundo FOODY (2002), em classificações temáticas obtidas por sensoriamento remoto, o termo acurácia (ou precisão) é utilizado tipicamente para expressar o grau de acerto desta classificação quando comparada com a realidade. Um mapa temático derivado de uma classificação deve ser considerado acurado se ele fornece uma representação não tendenciosa da cobertura terrestre nele expressa. Por outro lado, o erro obtido na classificação corresponde à discrepância entre a situação representada no mapa temático e a realidade (CONGALTON & GREEN, 1999; BEISL, 2009).

Vários métodos de avaliação da acurácia de uma classificação temática de dados de sensoriamento remoto podem ser empregados, porém os predominantes correspondem aos valores obtidos a partir da “matriz de erro” ou “matriz de confusão” e do Índice Kappa (FOODY, 2002; CONGALTON & GREEN, 1999).

#### 3.8.1 Matriz de Erro e Índice de Concordância Kappa

Normalmente, a matriz de erro é quadrada, onde as colunas indicam os dados de referência obtidos pelas amostras de verdade terrestre e as linhas correspondem às informações obtidas pela classificação temática de determinada imagem. A forma mais simples e comumente utilizada destes números é a representação por porcentagem dos casos (*pixels*) em que as amostras correspondem às classes de referência (BEISL, 2009).

Na matriz de erro (Figura 3.7), as células destacadas em cinza clara representam a diagonal principal, que contém os casos onde os dados de amostragem concordam com a classificação temática. Os outros elementos marginais estão localizados fora da diagonal principal e incluem os casos onde não há concordância da classificação com os dados amostrais.

Fonte: CONGALTON & GREEN (1999)

		Reference Data			
		1	2	k	$\Sigma n_{i+}$
Classified Data	1	$n_{11}$	$n_{12}$	$n_{1k}$	$n_{1+}$
	2	$n_{21}$	$n_{22}$	$n_{2k}$	$n_{2+}$
	k	$n_{k1}$	$n_{k2}$	$n_{kk}$	$n_{k+}$
	$\Sigma n_{+j}$	$n_{+1}$	$n_{+2}$	$n_{+k}$	$n$

Figura 3.7 - Formulação matemática de uma matriz de erro.

Diversas medidas descritivas podem ser obtidas a partir da matriz de erro para expressar a acurácia da classificação. De acordo com CONGALTON & GREEN (1999), assumindo que  $n$  amostras estão distribuídas em  $k^2$  células, cada amostra é destinada a uma categoria  $k$  na classificação do dado de sensoriamento remoto (usualmente linhas) e, independentemente, a uma mesma categoria  $k$  no dado de referência (usualmente colunas). Assim,  $n_{ij}$  corresponde ao número de amostras classificadas dentro da categoria  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ) na classificação obtida e pertencentes à categoria  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) no conjunto dos dados de referência (Figura 3.7). Desta forma:

$$n_{i+} = \sum_{j=1}^k n_{ij} \quad , \quad \text{EQ. 3.15}$$

onde  $n_{i+}$  é o número de amostras classificadas dentro da categoria  $i$  no produto final da classificação temática. Além disso, tem-se que:

$$n_{+j} = \sum_{i=1}^k n_{ij} \quad , \quad \text{EQ. 3.16}$$

onde  $n_{+j}$  é o número de amostras pertencentes à categoria  $j$  no conjunto de dados de referência.

A acurácia global (*Overall Accuracy*) é gerada pela razão entre o total de amostras corretamente classificadas (somatório dos valores situados na diagonal da matriz) e o número total de amostras de toda a matriz de erros.

$$\text{Overall accuracy} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \quad \text{EQ. 3.17}$$

A matriz de erros consiste em um método efetivo para conferir tanto os erros de comissão, quanto os erros de omissão presentes em uma classificação. No primeiro caso, o erro ocorre quando há inclusão de uma amostra em uma categoria da qual ela não faz parte. Já o erro de omissão é o oposto, ou seja, ocorre quando há exclusão de uma amostra de uma classe da qual ela realmente faz parte. Assim, erro é resultado ou da exclusão da categoria correta ou da inclusão em uma categoria errada (CONGALTON & GREEN, 1999).

Uma outra forma de verificar a acurácia de uma classificação com base em uma matriz de dados é através do índice *Kappa* (COHEN, 1960). Ao contrário da acurácia global, que assume o documento de referência como totalmente verdadeiro,

o método utilizado para o cálculo do índice *Kappa* considera que o produto gerado e o documento de referência possuem o mesmo grau de veracidade (BRITES *et al.*, 1996; LOBÃO *et al.*, 2005). Esta técnica de análise é utilizada pela sociologia e psicologia há vários anos. Em sensoriamento remoto, a primeira referência descrevendo a utilização do método foi CONGALTON *et al.* (1983). Desde então, vários autores recomendam o uso de tal abordagem, como por exemplo, CONGALTON & GREEN (1999).

O índice *kappa* é obtido a partir da matriz de erro e quantifica a acurácia da classificação. Isso é verificado através da concordância entre o resultado do processamento e o dado de referência das amostras, conforme indicado na diagonal principal da matriz. Além disso, o método determina qual a magnitude da acurácia pode ter sido obtida ao acaso, utilizando um valor que varia entre 0 e 1. O coeficiente é obtido a partir da seguinte equação:

$$\hat{K} = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}{n^2 - \sum_{i=1}^k n_{i+} n_{+i}}, \quad \text{EQ. 3.18}$$

onde:

$k$  = número de linhas da Matriz de Erro;

$n$  = número total de observações (amostras);

$n_{ii}$  = número de observações na linha  $i$  e coluna  $i$ ;

$n_{i+}$  = total da linha  $i$ ;

$n_{+i}$  = total da coluna  $i$ .

ROSENFELD & FITZPATRICK-LINS (1986) introduziram um algoritmo de cálculo para o índice de concordância *Kappa condicional*, que avalia a acurácia por classe, o qual é dado pela seguinte equação:

$$\hat{K}_i = \frac{nn_{ii} - n_{i+}n_{+i}}{nn_{i+} - n_{i+}n_{+i}} \quad \text{EQ. 3.19}$$

Os resultados da acurácia global e do índice *Kappa* indicam se uma classificação atingiu um nível aceitável. Para isto, CONGALTON & GREEN (1999) estabeleceram em 85% o limiar da acurácia global. Os autores descrevem que este limite foi obtido empiricamente, a partir de diversas observações de dados classificados e da realidade a eles correspondente.

Para definir o quanto a classificação está correta, LANDIS & KOCH (1977) *apud* CONGALTON & GREEN (1999) caracterizaram seis níveis de qualidade, de acordo com o valor do índice Kappa (Tabela 3.4).

Fonte: CONGALTON & GREEN (1999)

**Tabela 3.4 - Níveis de qualidade da classificação de acordo com o índice Kappa, segundo LANDIS & KOCH (1977)**

Concordância	Kappa ( $\hat{K}$ )
Muito Forte	$\hat{K} > 0,80$
Substancial	$0,60 < \hat{K} < 0,79$
Moderada	$0,40 < \hat{K} < 0,59$
Leve	$0,20 < \hat{K} < 0,39$
Pobre	$0,00 < \hat{K} < 0,19$
Sem Concordância	$\hat{K} = 0$

### 3.9- Detecção de Mudanças em Escala Multitemporal

A obtenção de informações precisas e atuais de mapas sobre uso e a cobertura do solo é fundamental para subsidiar processos de tomada de decisão, planejamento urbano e monitoramento de ecossistemas. Neste contexto, o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas estão cada vez mais consolidados como ferramentas avançadas de gerenciamento espacial. A possibilidade de aquisição de bases de dados de sensores remotos viabiliza a execução de análises da superfície terrestre em diferentes escalas, desde pesquisas ecológicas em áreas localizadas até o gerenciamento da biodiversidade em âmbito nacional.

Segundo RIEBSAME *et al.* (1994), o uso do solo pode interferir na cobertura do solo e vice-versa. Ocorre que um não muda necessariamente em função do outro. Ainda de acordo com os referidos autores, no entanto, pesquisas sobre padrões de uso do solo indicam que, por uma variedade de causas sociais, mudanças na cobertura do solo afetam diretamente a biodiversidade, a qualidade da água e o equilíbrio dos ecossistemas. Tais fatores, por sua vez, podem provocar alterações no clima e na biosfera.

A cobertura do solo pode ser alterada por outras forças não antropogênicas. Como efeito, eventos naturais, tais como secas prolongadas, inundações e queimadas, podem causar modificações na cobertura do solo. Contudo, MEYER



(1995) afirma que a cobertura do solo é alterada principalmente por vetores antrópicos, como agricultura, pecuária, extração de minérios, devastação de florestas e expansão urbana.

Neste sentido, é importante não apenas ter em mãos as informações existentes sobre uso e cobertura do solo, mas também ser capaz de acompanhar a dinâmica do processo resultante dos fenômenos causadores de mudanças: a demanda por crescimento urbano e as forças naturais.

O lançamento do primeiro satélite de sensoriamento remoto (Landsat-1), em 1972, incrementou os estudos sobre uso e cobertura do solo em diferentes escalas para diversificados usuários. Desde então, as opções de emprego de dados orbitais em distintas resoluções espaciais e radiométricas contribuíram para ampliar as possibilidades de métodos multitemporais de detecção de mudanças. Esse leque de alternativas metodológicas não contempla uma “receita de bolo”; na verdade, cada caso deve ser estudado de maneira peculiar. Isso se torna mais evidente quando a pesquisa envolve imagens orbitais de alta resolução espacial, pois, além de ser uma tecnologia relativamente recente, o processamento digital desses dados é mais complexo e custoso do que outras alternativas com resolução espacial média ou baixa.

No presente trabalho, o termo *change detection* é utilizado conforme definido por HAYES & SADER (2001), ou seja, como um processo de detecção de mudanças no estado de um objeto ou fenômeno por intermédio da identificação de diferenças entre dois conjuntos de imagens tomadas da mesma área em épocas distintas. De acordo com SINGH (1989), a lógica da detecção de mudanças parte da premissa de que todas as alterações na cobertura terrestre deverão resultar em variações nos valores de radiância. Conseqüentemente, os sensores remotos deverão registrar tais mudanças armazenando diferentes valores de números digitais (DN, *digital numbers*).

Por razões mencionadas anteriormente, vários métodos utilizando dados de sensoriamento remoto vêm sendo empregados, ao longo das últimas décadas, para detecção de mudanças de uso do solo, especialmente em ambientes urbanos. No que concerne ao monitoramento da cobertura vegetal, várias técnicas digitais de detecção de mudanças são capazes de identificar alterações no tempo do padrão de resposta espectral da vegetação, como resultado de transformações fenológicas das espécies vegetais ou de intervenção humana. Estas técnicas utilizam métodos de processamento digital, tais como subtração de imagens, razão entre bandas e componentes principais, pós-classificação e análise de vetor de mudança (GRAÇA,

2004). Alguns artigos científicos destacam estes métodos de detecção de mudanças, a saber:

- RIDD & LIU (1998) fizeram uso da técnica de *subtração de imagens e regressão de imagem*;
- HOWARTH & BOASSON (1983) usaram *diferenças de índices de vegetação*;
- GONG (1993) empregou a *análise de componentes principais*;
- DAI & KHORRAM (1999) utilizaram *redes neurais*;
- ROGAN *et al.* (2003) aplicaram a técnica de *árvore de decisão*.

É muito comum encontrar estudos de técnicas de comparação pós-classificação utilizando sensores orbitais de baixa e média resolução espacial, tais como Landsat-7 ETM, SPOT 5, IRS, dentre outros. Contudo, essas técnicas abordam a classificação baseada exclusivamente no *pixel*.

O presente estudo faz uso de imagens IKONOS de alta resolução espacial, utilizando o método de classificação orientada a objetos para detecção de mudanças multitemporais por comparação pós-classificação. Nessa abordagem, duas imagens de uma mesma área de estudo, com datas distintas, são segmentadas simultaneamente de forma a extrair objetos, ou parte destes, comuns em ambos os dados. Este método de segmentação garante nas duas imagens o mesmo número e a mesma composição espacial dos objetos (segmentos). Após a segmentação, cada imagem referente a uma data é classificada de forma independente e, ao final do processo, ambas classificações são comparadas de forma a extrair as mudanças ocorridas em cada objeto. Considerando a classificação que corresponde à imagem de data mais recente, as diferenças são computadas, com o registro das mudanças espaciais de cada classe num mesmo ponto da área de estudo. O conceito de detecção de mudanças multitemporais baseado em classificação orientada a objeto pode ser visualizado na Figura 3.8.

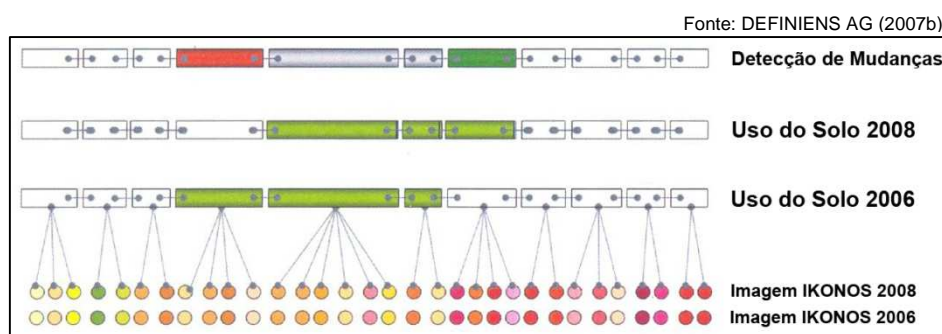


Figura 3.8 - Hierarquia dos objetos para detecção de mudanças.

### 3.10 - Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo

Atualmente, a indústria petrolífera vem investindo maciçamente em suas unidades especializadas em prevenção de acidentes e atuação em emergências ambientais, com o objetivo de assegurar a máxima proteção ao meio ambiente.

A importância do monitoramento ambiental em áreas onde há atividades petrolíferas é realçada pelos vários casos de derrames de petróleo ocorridos no litoral brasileiro na última década, em especial o incidente na Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, em 18 de janeiro de 2000. Tais acidentes têm incentivado os órgãos e as instituições envolvidas nestes episódios a aperfeiçoarem cada vez mais os métodos, tanto preventivos como corretivos, para minimizar os danos gerados ao ambiente (KAMPEL & AMARAL, 2001; CARVALHO, 2003; BENTZ & MIRANDA, 2001).

Um importante instrumento técnico-gerencial para elaboração de planos de emergências em caso de derrame de óleo é a utilização de Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo (Cartas SAO), as quais apontam os tipos de ambientes a serem protegidos prioritariamente.

O Serviço Nacional de Administração dos Oceanos e da Atmosfera dos Estados Unidos (NOAA) estabeleceu um manual de elaboração de mapeamento de sensibilidade a derrames de óleo, com a finalidade de padronizar os mapas produzidos naquele país (NOAA, 2002). No Brasil, a primeira tentativa neste sentido foi realizada por ARAUJO *et al.* (2002). Depois, o MMA, baseando-se amplamente nas propostas da NOAA (2002), elaborou um documento oficial visando padronizar a elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental (SAO) (MMA, 2002b).

De acordo com MMA (2002b), as cartas SAO devem conter três tipos de informações principais: *sensibilidade dos ecossistemas costeiros e marinhos; recursos biológicos*; usos humanos dos espaços e recursos (*atividades socioeconômicas*).

A *sensibilidade de linha de costa* classifica as seções do litoral em *habitats*, de acordo com as suas características geomorfológicas, sensibilidade a derrames de óleo, persistência natural do óleo e condições de limpeza/remoção. A partir desta compartimentação é realizada uma classificação baseada em um entendimento completo do ambiente costeiro, incluindo as relações entre os processos físicos e o substrato, que produzem tipos específicos de linhas de costa e permitem prever padrões de comportamento do óleo derramado e de transporte de sedimentos (LACERDA, 2006).

Os *recursos biológicos* incluem representantes de fauna e flora, com informação em nível de espécie, com especial atenção para espécies protegidas, raras, ameaçadas ou em perigo de extinção, e para locais onde ocorrem concentrações ou fases importantes do ciclo de vida das espécies, como áreas de alimentação, reprodução, berçários, *habitats* de nidificação e áreas de trânsito/rotas de migração. Estas informações são apresentadas na forma de tabelas por estágios específicos do ciclo de vida das espécies e pelos meses de ocorrência dos referidos estágios (considerando a sazonalidade).

Os *recursos socioeconômicos* incluem as atividades que podem ser prejudicadas por derrames de óleo ou afetadas pelas ações de resposta e combate à poluição por óleo.

Para a determinação da sensibilidade da área, utiliza-se o Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) que hierarquiza os diversos tipos de contorno da costa em uma escala de 1 a 10, sendo o índice tanto maior quanto maior o grau de sensibilidade. De acordo com MMA (2002b), a simbologia adotada para representação do ISL dos diversos segmentos costeiros nas cartas de sensibilidade obedece um código de cores apresentado na Tabela 3.5.

De acordo com a Tabela 3.5, os manguezais são classificados como o ecossistema mais sensível a derrames de óleo. Caso o óleo atinja seu substrato lamoso, pobre em oxigênio, ficará aí por muito tempo alojado, pois a biodegradação anaeróbia é muito lenta (WIECZOREK, 2006).

A Petrobras elaborou Cartas SAO para toda a Baía de Guanabara. Os manguezais da APA de Guapi-Mirim foram enquadrados no índice ISL 10. Isso reflete a importância de um plano de contingência específico para este ecossistema.

Para visualizar maiores detalhes dos Recursos Biológicos e Sócio-Econômicos, vide ANEXOS I (Folha Guapimirim), II (Folha Itaboraí) e III (Folha Praia da Luz), os quais exibem as Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo que compõem a linha de costa da APA de Guapi-Mirim seguindo as especificações das normas técnicas determinada pelo MMA (2002b).

Tabela 3.5 - Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL)

Índice		Tipos de Costa
ISL1		Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos; Falésias em rochas sedimentares, expostas; Estruturas artificiais lisas, expostas
ISL2		Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos; Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.)
ISL3		Praias dissipativas de areia média a fina, expostas; Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo "long beach"); Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos; Campos de dunas expostas
ISL4		Praias de areia grossa; Praias intermediárias de areia fina a média, expostas; Praias de areia fina a média, abrigadas
ISL5		Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais; Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação; Recifes areníticos em franja
ISL6		Praia de cascalhos (seixos e calhaus); Costa de detritos calcários; Depósito de Talus; Enrocamentos ("rip-rap", guia corrente, quebra-mar) expostos; Plataforma ou terraço exumados recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
ISL7		Planície de maré arenosa exposta; Terraço de baixa mar
ISL8		Escarpa/encosta de rocha lisa, abrigada; Escarpa/encosta de rocha não lisa, abrigadas; escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados; Enrocamentos abrigados
ISL9		Planícies de maré arenosas/lamosas abrigadas e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas; Terraços de baixa-mar lamosos abrigados; Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais
ISL10		Deltas e barras de rio vegetadas; Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas; Brejos salobros ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; Apicuns; Marismas; Manguezais (mangues frontais ou mangues de estuários)

## CAPÍTULO 4 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 - Materiais Utilizados

A seguir, é apresentada a descrição dos materiais utilizados no desenvolvimento da metodologia:

- Duas cenas do satélite IKONOS II (*Geo Ortho Kit*); referentes aos anos 2006 e 2008, com 4 bandas espectrais cada cena;
- Base cartográfica digital na escala 1:10.000, com sistema de coordenadas UTM e referencial geodésico SAD 69. Estes dados foram cedidos gentilmente pela Ampla para utilização na ortorretificação das imagens;
- Base cartográfica digital IBAMA referente aos limites da Área de Proteção de Guapi-Mirim, com sistema de coordenadas geográfica e referencial geodésico SAD 69;
- Base cartográfica digital de diversos temas do IBGE, Marinha do Brasil e TRANSPETRO, com sistemas de coordenadas e referencial geodésico variados;
- Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo da APA de Guapi-Mirim, cedidas gentilmente pela Petrobras, na escala 1:50.000, com sistema de coordenadas UTM e referencial geodésico SAD 69. Folhas Guapimirim, Itaboraí e Praia da Luz;
- Base cartográfica digital do Índice de Sensibilidade Costeira da Baía de Guanabara, cedida gentilmente pela Petrobras, com sistema de coordenadas UTM e referencial geodésico SAD 69;
- GPS Trimble Xgeo;
- Máquina Fotográfica Sony Cyber-shot DSC-H10 - 8.1 *megapixels*;
- Computador com as descrições exibidas na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Configuração do computador utilizado no processamento das imagens**

Sistema Operacional	Windows Vista Ultimate (64 <i>bits</i> )
Processador	Intel (R) Xeon(R) X5460 @ 3.16GHz (2 processadores)
Memória RAM	16,0 GB
Disco Rígido	500 GB
Placa de Vídeo	NVIDIA Quadro FX 4600
Monitor	DELL 24" (1920 por 1200 <i>pixels</i> de resolução)

#### **4.1.1 Softwares Utilizados**

- O programa PCI Geomatica V. 10.0.2 foi utilizado para geração de composições coloridas, geração de MDE, ortorretificação das imagens IKONOS e verificação dos resultados da ortorretificação;
- O ArcGIS 9.2 foi empregado para ajustes da base cartográfica, padronização dos sistemas de coordenadas, acurácia da classificação e análises de detecção de mudanças;
- O *software* Definiens Developer 7 foi usado para a segmentação multiresolução orientada a objetos e para a classificação hierárquica dos objetos da imagem;
- O Microsoft Office Excel 2007 foi aplicado para realizar a matriz de erro das classificações das imagens de 2006 e 2008.

#### **4.2 - Metodologia**

A metodologia referente ao presente trabalho foi estabelecida de acordo com a seqüência de procedimentos apresentada no fluxograma da Figura 4.1.

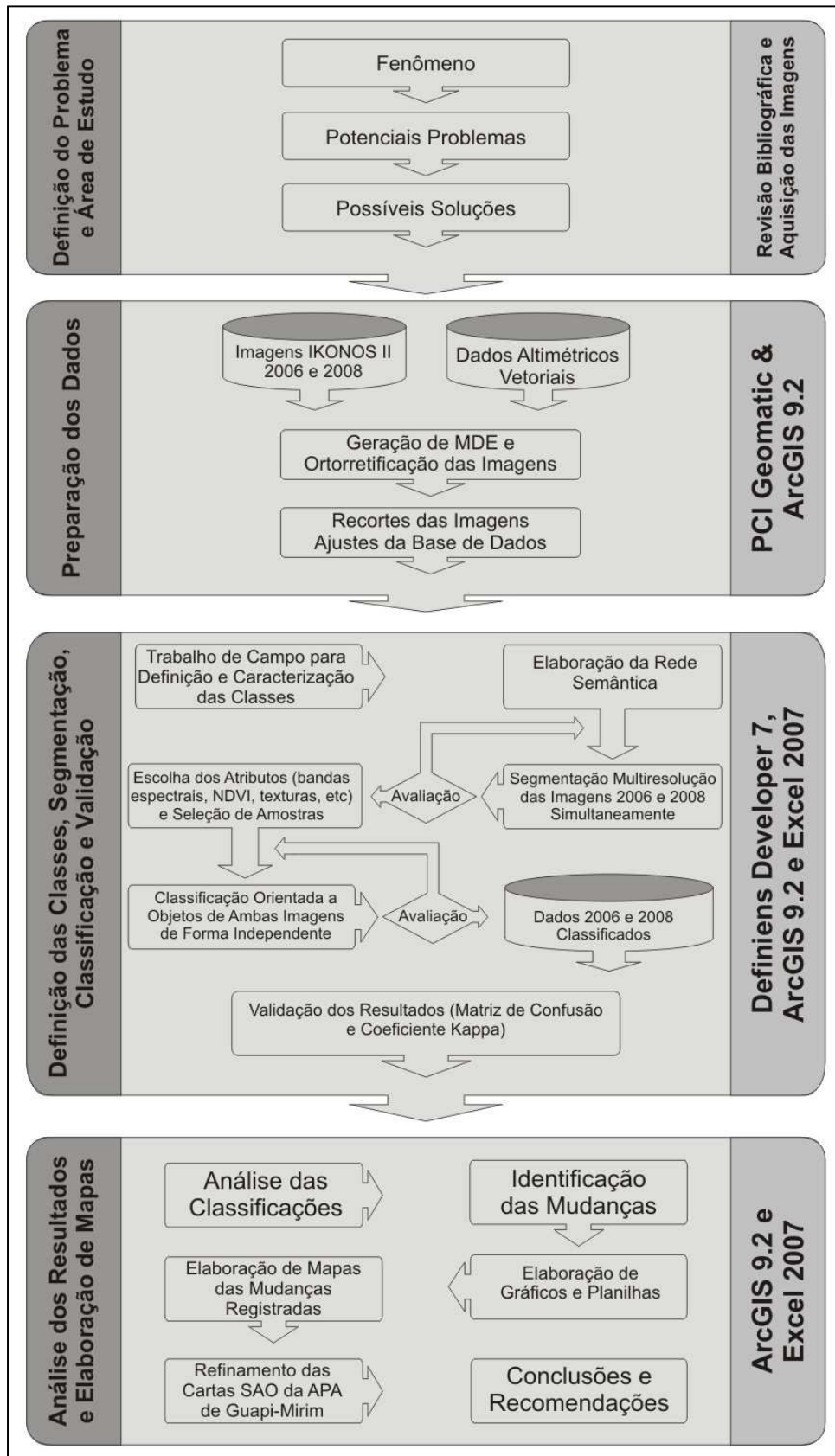


Figura 4.1 - Fluxograma de atividades referente à metodologia proposta.



### 4.3 - Características das Imagens da Área de Estudo

#### 4.3.1 Contexto da Aquisição das Imagens IKONOS

As imagens da área de estudo foram adquiridas pelo satélite IKONOS nos dias 23 de março de 2006 e 10 de junho de 2008. As características de tais produtos são mostradas na Tabela 4.2.

Fonte: GEOEYE (2006); GEOEYE (2008)

Tabela 4.2 - Características das imagens IKONOS adquiridas

	IKONOS 2006	IKONOS 2008
<b>Data de Aquisição</b>	23/mar/2006 – 13h08min (GMT <sup>1</sup> )	10/jun/2008 – 13h14min (GMT)
<b>Formato</b>	TIF	TIF
<b>Bandas</b>	Red / Green / Blue / NIR	Red / Green / Blue / NIR
<b>Resolução Pixel (m)</b>	1	1
<b>Ângulo de Elevação Solar</b>	54.1°	38.4°
<b>Ângulo de AzimuteSolar</b>	52.1°	29.2°
<b>Cobertura de Nuvens (%)</b>	0	0
<b>Tipo de Imagem</b>	PAN/MSI	PAN/MSI
<b>Resolução Radiométrica</b>	11 bits	11 bits

De acordo com a Tabela 4.2, o ângulo de elevação solar da imagem IKONOS adquirida em 23 de março de 2006 é maior do que aquele da imagem IKONOS obtida em 10 de junho de 2008. Considerando que as imagens correspondem praticamente ao mesmo horário de aquisição, essa diferença do ângulo de elevação solar é explicada em função da variação sazonal. Embora ambas as imagens tenham sido adquiridas durante o outono, a diferença relativa à época do ano explica a variação do ângulo de elevação solar.

Como consequência, a imagem de 2008 sofreu um efeito de sombreamento maior devido ao menor ângulo de elevação solar. De acordo com ALMEIDA-FILHO (1982), as interferências da iluminação são indesejáveis, pois podem causar variações tonais dentro de uma mesma unidade temática, fazendo com que alvos iguais apareçam com tonalidades diferentes.

A Figura 4.2 ilustra o efeito diferencial de sombreamento em decorrência da mudança do ângulo de elevação solar nas duas imagens IKONOS.

<sup>1</sup> GMT – Greenwich Meridian Time.

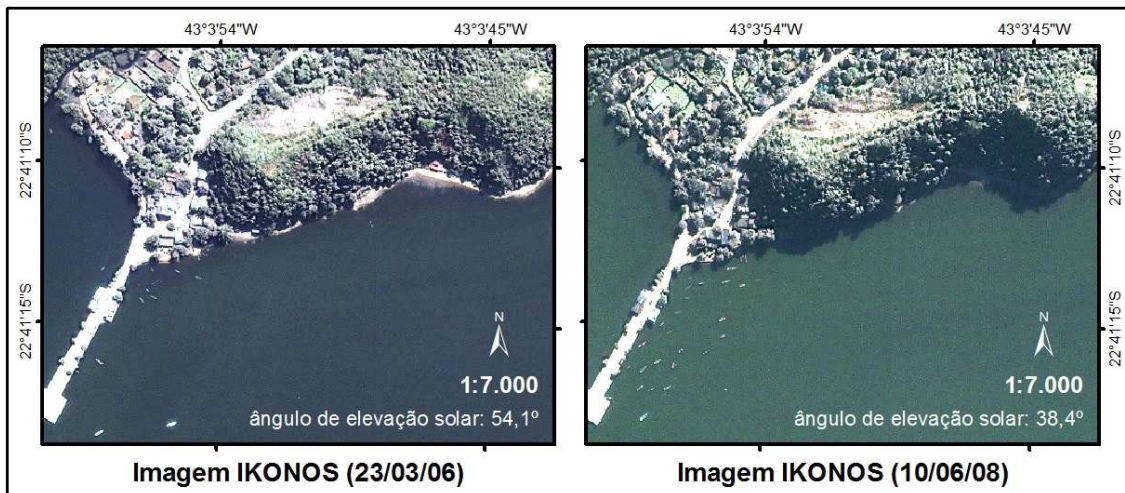


Figura 4.2 - Efeito do sombreamento mostrado em um recorte da área da APA de Guapi-Mirim.

Outra interferência natural que pode influenciar na interpretação da imagem é o comportamento das marés ao longo do dia. Marés são movimentos periódicos de rebaixamento e elevação das grandes massas de água formadas pelos oceanos, mares e lagos, provocados pela atração gravitacional da Lua e do Sol sobre superfície terrestre (DANNEMANN, 2008).

Desta forma, é necessário conhecer o comportamento das marés no momento em que as imagens foram obtidas. As Figuras 4.3 e 4.4 mostram os diagramas do comportamento da maré ao longo das respectivas datas de aquisição das imagens IKONOS da APA de Guapi-Mirim.

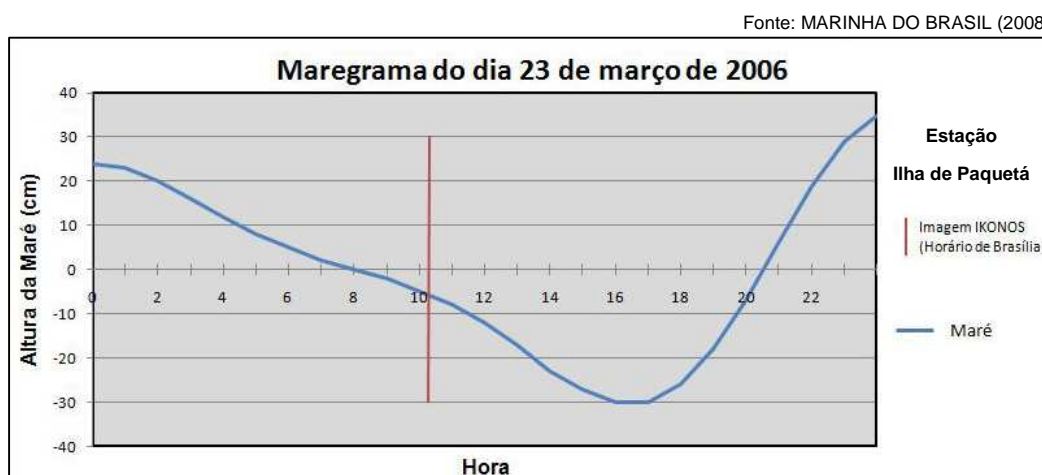


Figura 4.3 - Maregrama de 23/mar/2006 (registro da primeira imagem IKONOS na APA de Guapi-Mirim).

No dia 23 de março de 2006, a maré se encontrava em torno de 5 cm abaixo do nível normal, no momento do registro da imagem IKONOS. Por outro lado, em 10 de junho de 2008, a maré se encontrava aproximadamente 15 cm acima no nível normal quando foi adquirida pelo satélite IKONOS.

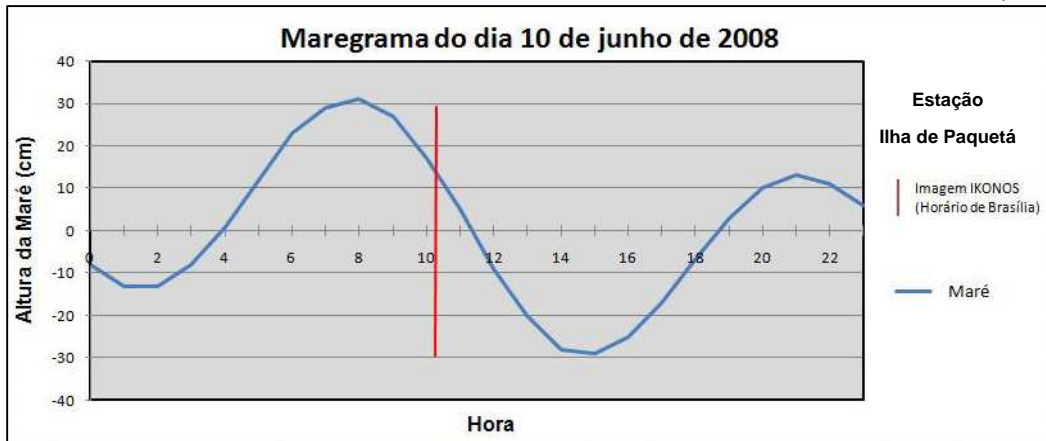


Figura 4.4 - Maregrama de 10/jun/2008 (registro da segunda imagem IKONOS na APA de Guapi-Mirim).

A diferença na altura de maré entre as duas imagens é aproximadamente de 20 cm. Uma das prováveis conseqüências desse fato se relaciona com a extensão das margens encobertas pelos corpos d’água nos rios e na baía, ou seja, é provável que as margens dos rios expostas na imagem de 2006 sejam maiores do que aquelas na imagem de 2008. A mesma premissa vale para as planícies intermaré lamosas localizadas nos estuários dos rios que deságuam na Baía de Guanabara.

### 4.3.2 Recorte da Área de Estudo

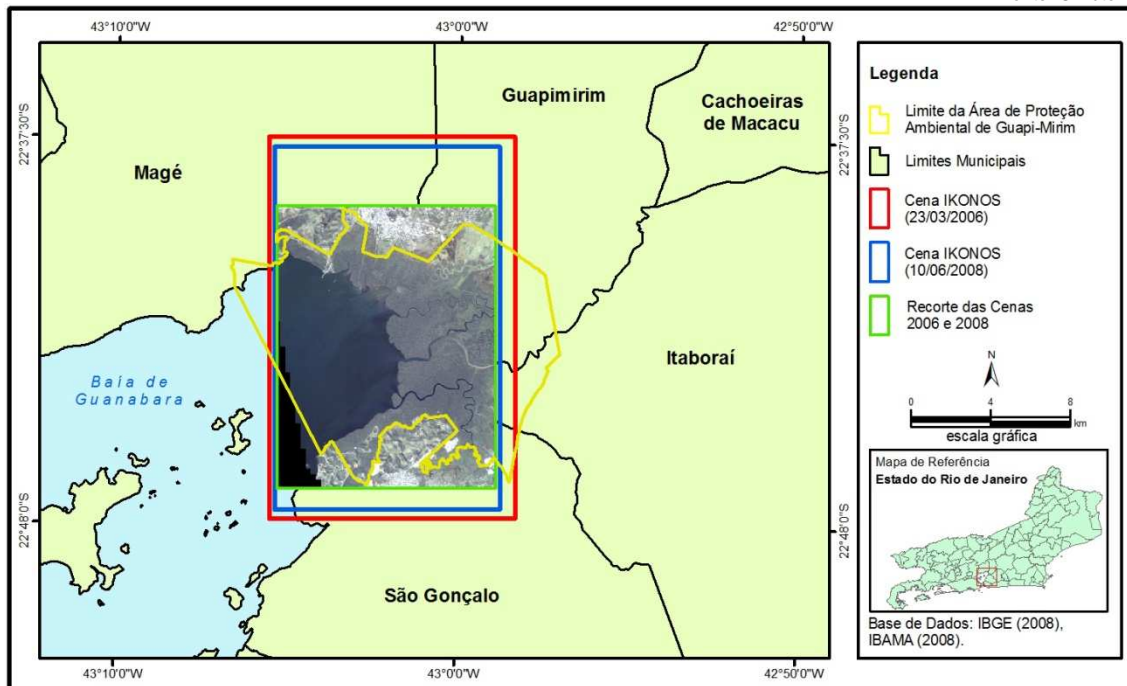


Figura 4.5 - Mapa dos recortes das cenas IKONOS da área de estudo.

As cenas IKONOS dos anos de 2006 e 2008 não são coincidentes quanto à sua área de cobertura. Além disso, ambas não abrangem a totalidade da área correspondente à APA de Guapi-Mirim. Assim, foi necessário realizar um recorte das cenas de forma que apresentassem a máxima cobertura comum possível nos limites desta Unidade de Conservação (Figura 4.5).

A APA de Guapi-Mirim ocupa uma superfície total de 138,25 km<sup>2</sup>. No entanto, o recorte das áreas comuns das cenas IKONOS dentro da APA inclui somente 113,56 km<sup>2</sup>.

## **4.4 - Preparação dos Dados**

### **4.4.1 Imagens IKONOS**

As imagens IKONOS II adquiridas foram do tipo Geo Ortho Kit, que são compostas pela fusão da banda pancromática com cada banda multiespectral. Portanto, as bandas vermelho, verde, azul e infravermelho próximo possuem resolução espacial de 1 metro.

### **4.4.2 Geração das Composições Coloridas**

Para realização desta etapa, foi empregado o módulo OrthoEngine do *software* PCI *Geomatics* versão 10.0.2. Neste módulo, foi gerada uma composição colorida para cada cena, utilizando a funcionalidade CD IKONOS, a qual permite que sejam obtidos tais produtos com informações de órbita do satélite. Neste procedimento, foram consideradas todas as bandas (infravermelho próximo, vermelho, verde e azul), as quais foram agrupadas em um único arquivo *pix* (formato original do programa PCI) para cada cena.

### **4.4.3 Avaliação dos Dados Altimétricos**

Primeiramente, foram abertos, no *software* ArcGIS, os arquivos em formato *dxf* referentes a cada uma das folhas da base cartográfica digital fornecida pela Ampla. Na etapa seguinte, as curvas de nível e pontos cotados de cada um dos arquivos foram exportados para o formato *shapefile* (proprietário dos programas ESRI) e agrupados em um único arquivo. Sobre este arquivo, foram sobrepostos os limites das folhas, de forma a se verificar se as feições de altimetria dos diferentes arquivos coincidiam entre si, tanto em termos gráficos quanto no que se refere às informações de cota (Figura 4.6).

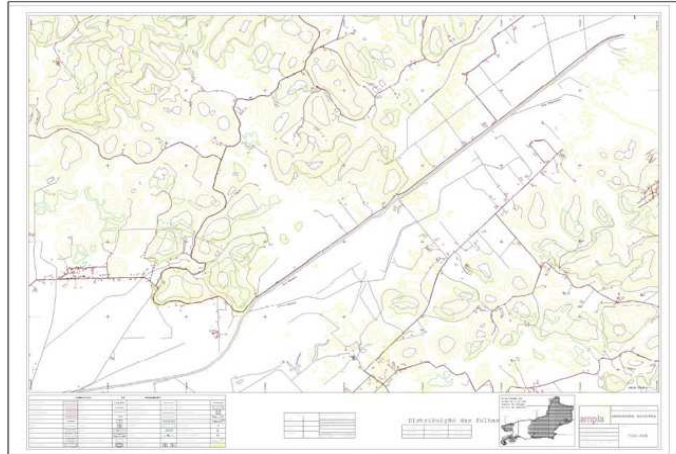


Figura 4.6 - Folha cartográfica contendo a base digital.

#### 4.4.4 Geração do MDE

Após ter sido constatado que as feições de altimetria dos diferentes arquivos não apresentavam incoerências, estas foram importadas para o módulo OrthoEngine do programa PCI Geomatics, no qual foi gerado um modelo digital de elevação (MDE) com resolução de 5 metros (compatível com o intervalo de dados de altimetria). A Figura 4.7 apresenta o MDE gerado a partir da base digital.

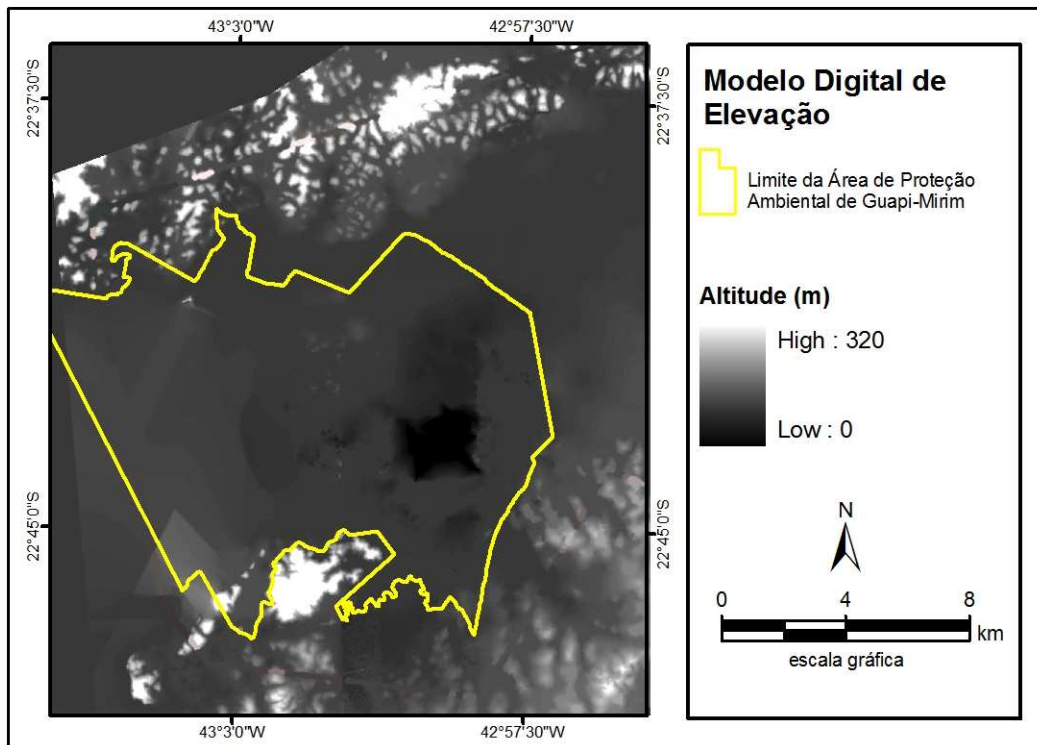


Figura 4.7 - MDE gerado a partir da base digital.

#### 4.4.5 Ortorretificação das Imagens IKONOS

No módulo OrthoEngine, foi gerado um projeto de ortorretificação. Em seguida, as cenas IKONOS, o MDE e a base fornecida pela Ampla foram importadas para o

projeto, onde foram coletados pontos de controle (GCPs) e de ligação (TPs) entre as imagens.

Concluída a coleta de GCPs e TPs, o passo seguinte foi realizar a ortorretificação das cenas utilizando o MDE e o arquivo *Rational Polinomial Camera* (RPC). O modelo de câmera RPC do satélite IKONOS é utilizado para simular as efemérides e a atitude do sensor no momento do imageamento. A Tabela 4.3 exibe os pontos de controle utilizados para referenciar as imagens IKONOS.

**Tabela 4.3 - Lista de Pontos de Controle (GCPs) nas imagens IKONOS**

Ponto ID	Res (m)	Res X (m)	Res Y (m)	Terreno X	Terreno Y	Comp X	Comp Y
G0001	3,049	2,861	-1,054	698597,469	7489694,453	698600,33	7489693,4
G0044	1,544	0,284	1,518	701486,375	7489244,375	701486,66	7489245,89
G0033	1,492	1,282	-0,762	700624,438	7482108,469	700625,72	7482107,71
G0015	1,474	-1,412	-0,425	706652,438	7487947,438	706651,03	7487947,01
G0022	1,212	1,022	-0,651	705557,5	7488837,438	705558,52	7488836,79
G0024	1,203	-1,18	-0,235	703341,5	7482684,5	703340,32	7482684,27
G0043	1,13	-1,129	-0,052	703753,438	7479679,5	703752,31	7479679,45
G0020	1,108	-1,08	0,244	703875,313	7490169,625	703874,23	7490169,87
G0005	1,101	-0,541	0,959	705823,453	7492235,516	705822,91	7492236,47
G0002	1,071	0,996	-0,393	704907,5	7481361,5	704908,5	7481361,11
G0036	0,996	0,655	-0,75	704099,5	7483743,531	704100,16	7483742,78
G0023	0,974	0,972	0,056	706263,5	7483282,5	706264,47	7483282,56
G0040	0,902	0,825	-0,366	706483,438	7494360,531	706484,26	7494360,17
G0042	0,8	-0,783	-0,166	702935,5	7494066,5	702934,72	7494066,33
G0039	0,799	-0,393	-0,696	702211,5	7486390,438	702211,11	7486389,74
G0008	0,753	0,418	0,626	702701,5	7483499,5	702701,92	7483500,13
G0046	0,738	0,687	-0,272	700270,375	7493786,5	700271,06	7493786,23
G0032	0,659	-0,246	0,612	704553,438	7488258,5	704553,19	7488259,11
G0011	0,648	0,642	-0,088	703309,438	7480294,375	703310,08	7480294,29
G0003	0,611	-0,531	0,301	698854,5	7481241,563	698853,97	7481241,86
G0007	0,599	0,307	0,515	706777,563	7490131,375	706777,87	7490131,89
G0028	0,587	-0,042	0,585	705083,75	7478883,5	705083,71	7478884,09
G0025	0,565	-0,538	-0,171	696611,375	7490895,5	696610,84	7490895,33
G0009	0,55	0,52	0,178	702043,5	7487718,5	702044,02	7487718,68
G0019	0,544	0,12	-0,531	704954,5	7486886,5	704954,62	7486885,97
G0017	0,484	0,444	0,192	699186,625	7491065,5	699187,07	7491065,69
G0045	0,478	0,046	-0,476	704340,5	7491765,438	704340,55	7491764,96
G0038	0,476	-0,468	0,087	701798,438	7491874,5	701797,97	7491874,59
G0026	0,461	0,168	-0,429	701785,5	7492464,375	701785,67	7492463,95
G0029	0,381	0,204	0,322	704707,438	7491688,5	704707,64	7491688,82
G0037	0,368	-0,088	-0,357	703849,5	7491914,469	703849,41	7491914,11
G0031	0,281	-0,06	0,275	700425,531	7492688,469	700425,47	7492688,74
G0016	0,243	-0,155	0,187	702728,438	7485432,563	702728,28	7485432,75
G0012	0,242	0,232	-0,071	698594,5	7493238,5	698594,73	7493238,43
G0004	0,242	-0,183	-0,158	702125,438	7491220,5	702125,25	7491220,34

GCPs: 33 pontos (X RMS: 0,67 m ; Y RMS: 0,51 m)

Pontos de Verificação: 2 pontos (X RMS: 3,03 m ; Y RMS: 1,12 m)

**RMS Global: 0,85 m**



#### 4.4.6 Verificação dos Resultados da Ortorretificação

Com a finalidade de verificar os resultados obtidos com a ortorretificação, foi sobreposto às imagens corrigidas o vetor referente às vias terrestres, extraído da base cartográfica digital. Na Figura 4.8, encontra-se a sobreposição dos vetores sobre parte das imagens. O procedimento comprova a adequação dos resultados da ortorretificação para o desenvolvimento da presente pesquisa.

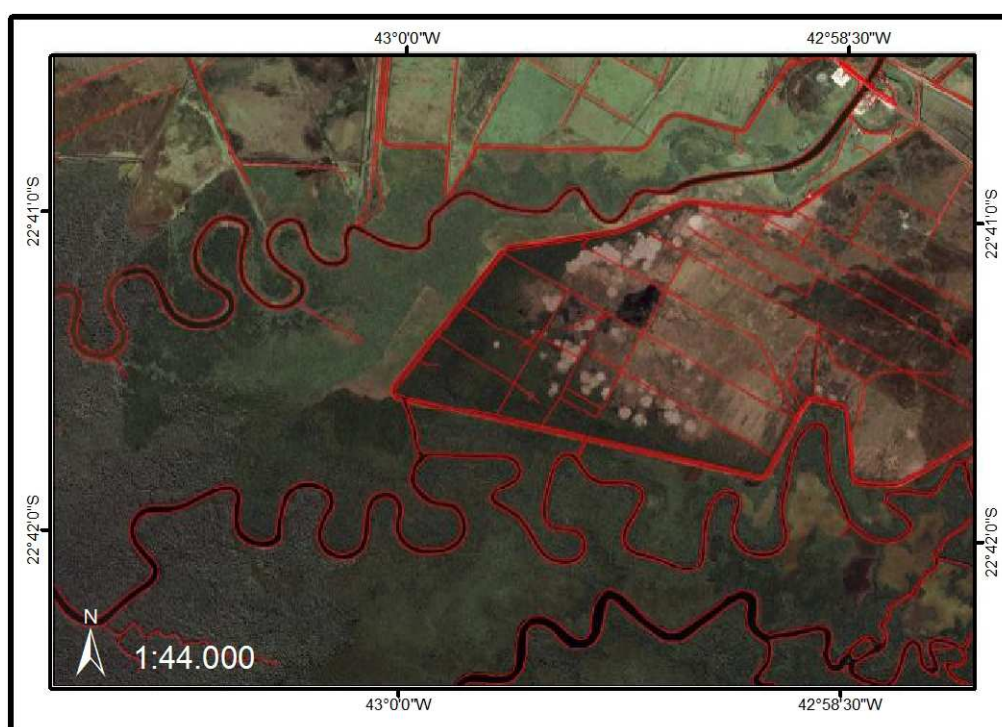


Figura 4.8 - Sobreposição de vetores sobre um recorte da cena IKONOS, escala aproximada 1:20.000.

#### 4.5- Classificação das Imagens

O processo de classificação das imagens foi dividido em quatro etapas: definição e caracterização das classes de uso e cobertura do solo, com base em trabalho de campo e interpretação visual das imagens IKONOS; estruturação da rede semântica; segmentação por multiresolução; definição de descritores das classes e classificação de tipo de cobertura para áreas de favela.

##### 4.5.1 Trabalho de Campo

O trabalho de campo teve como objetivo reconhecer, na área de estudo, as possíveis classes de uso e cobertura do solo que poderiam ser incluídas na classificação. Houve três visitas ao local. O primeiro reconhecimento de campo foi realizado no dia 03 de setembro de 2009, com início às 9:00h e término às 13:00h. Foram percorridos cerca de 58 km, com barco motorizado, nos rios Guapi, Guaraí,

Guaraí-Mirim e Caceribu, bem como na Baía de Guanabara. O segundo reconhecimento de campo foi realizado no dia 30 de outubro de 2009, das 10:00h às 14:00h. Nesta ocasião, foi visitada a face norte da APA, que se concentra basicamente no bairro de Piedade, município de Magé. O último trabalho de campo ocorreu no dia 2 de novembro do mesmo ano, das 14:00h às 17:00h, com a atenção voltada ao bairro de Itaúna, município de São Gonçalo. A Figura 4.9 mostra os locais das fotografias obtidas na região investigada. Para facilitar a visualização mais precisa dos pontos registrados, estes foram divididos em quadrantes, que serão detalhados em mapas à parte (Figuras 4.10 a 4.17).



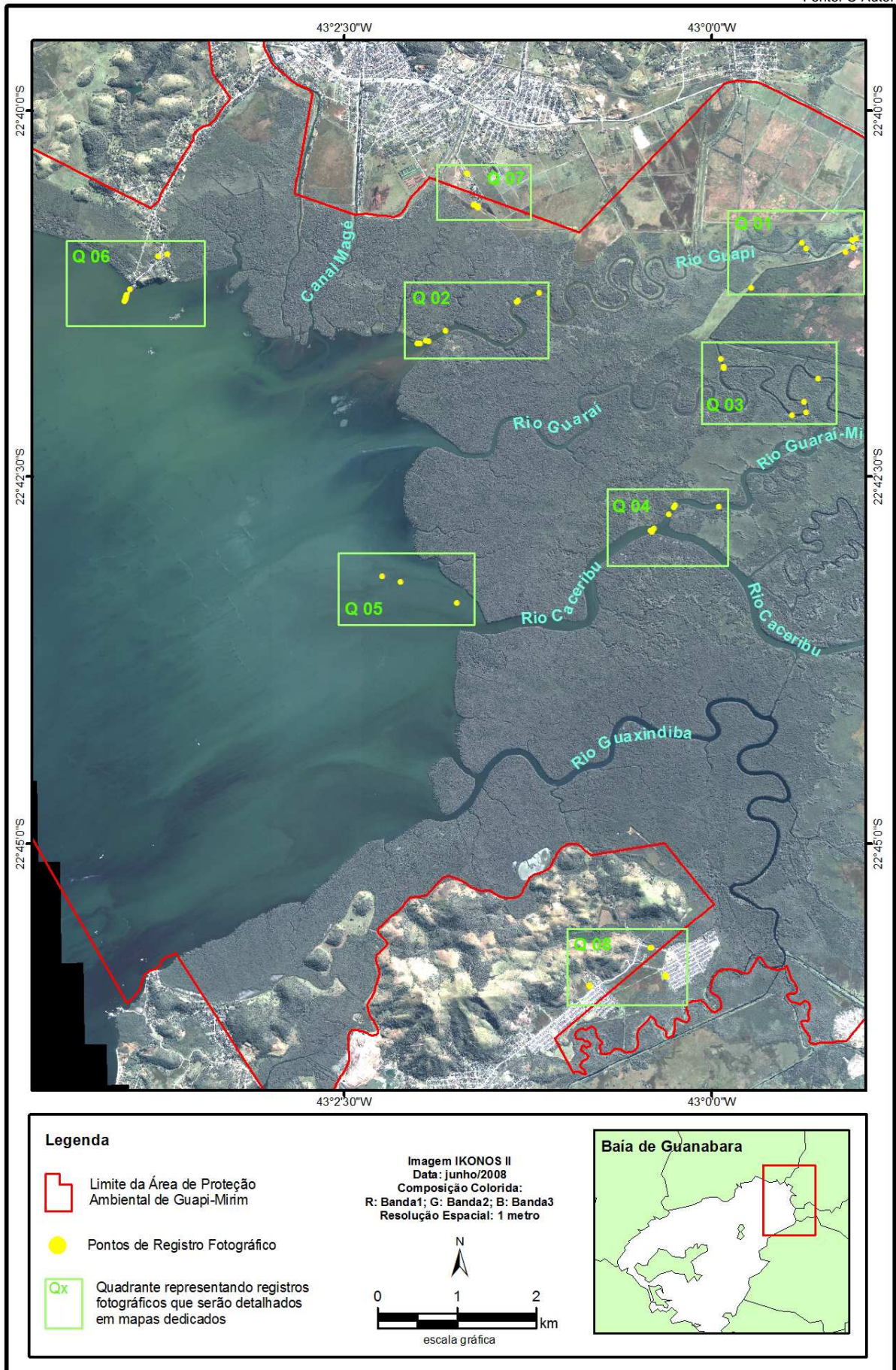


Figura 4.9 - Mapa dos locais dos registros fotográficos.



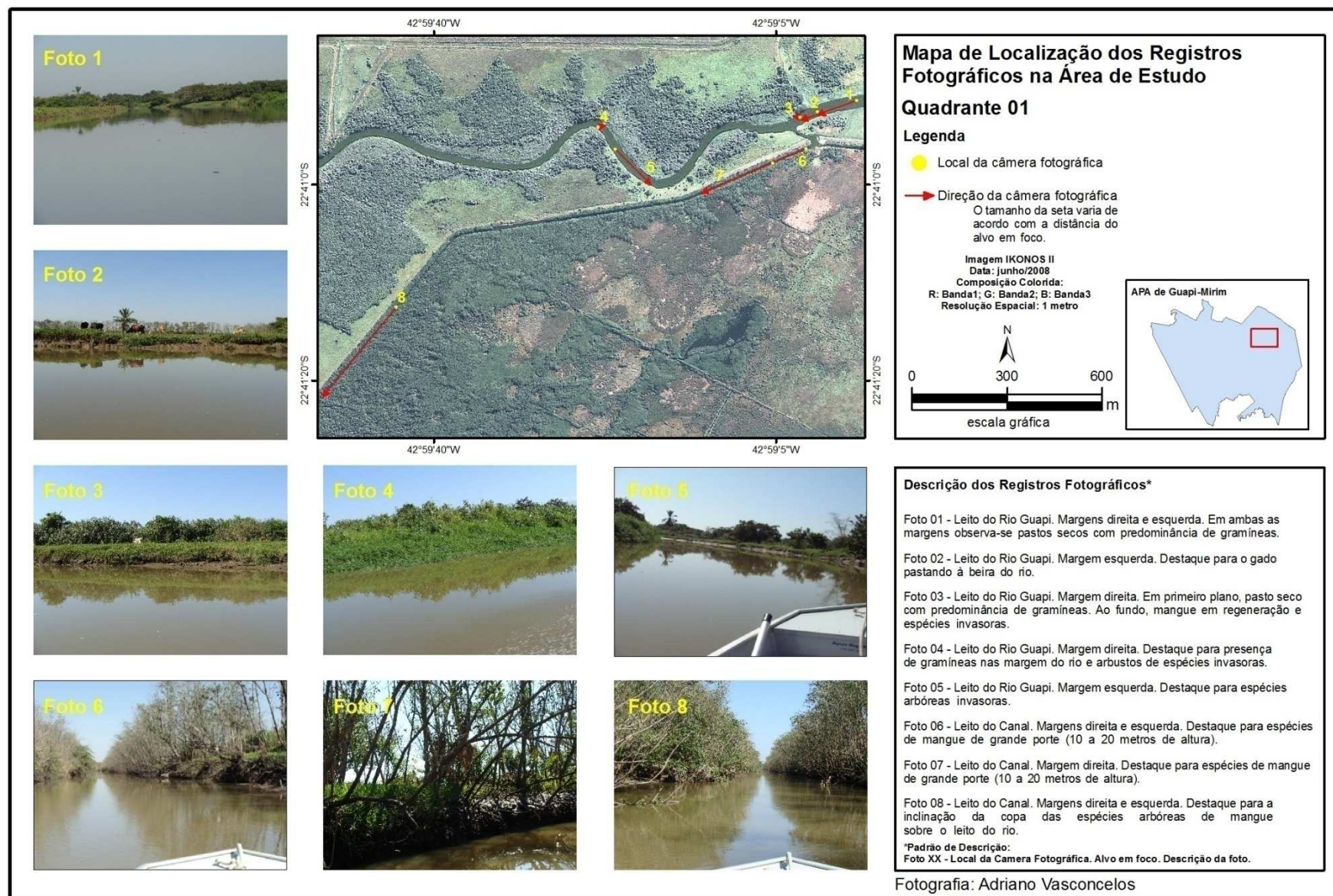


Figura 4.10 - Localização dos registros fotográficos na área de estudo (quadrante 01).



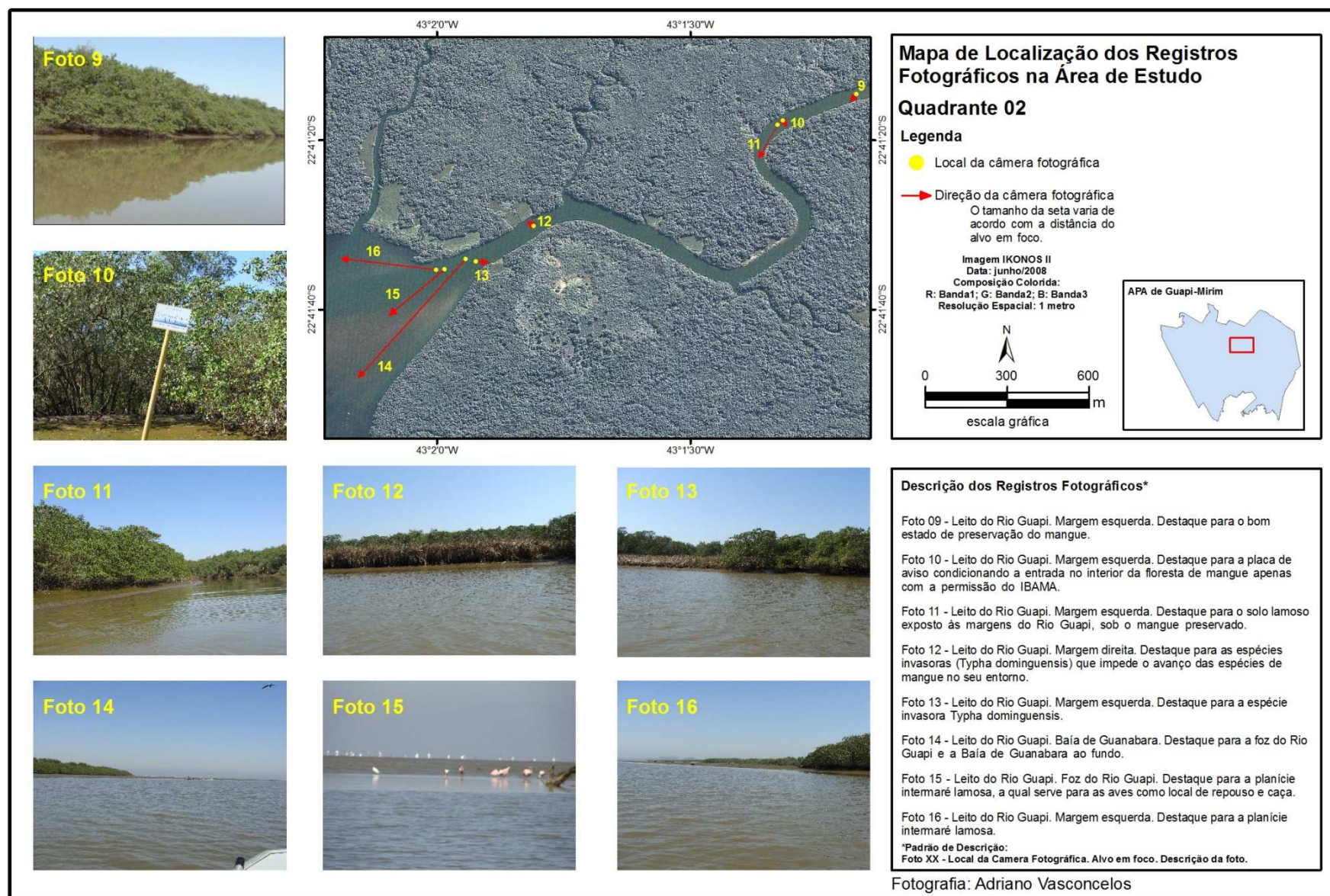


Figura 4.11 - Localização dos registros fotográficos na área de estudo (quadrante 02).



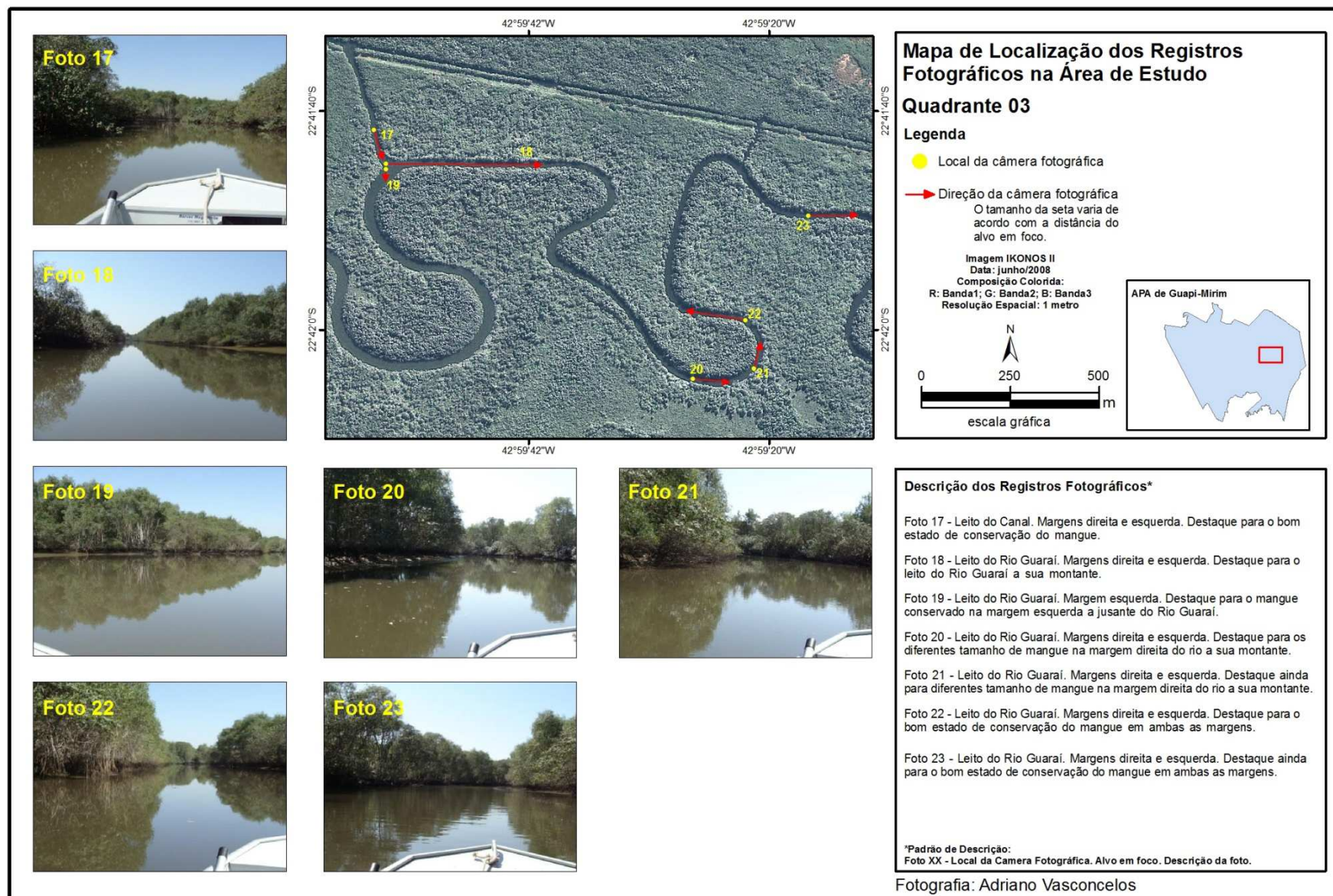


Figura 4.12 - Localização dos registros fotográficos na área de estudo (quadrante 03).



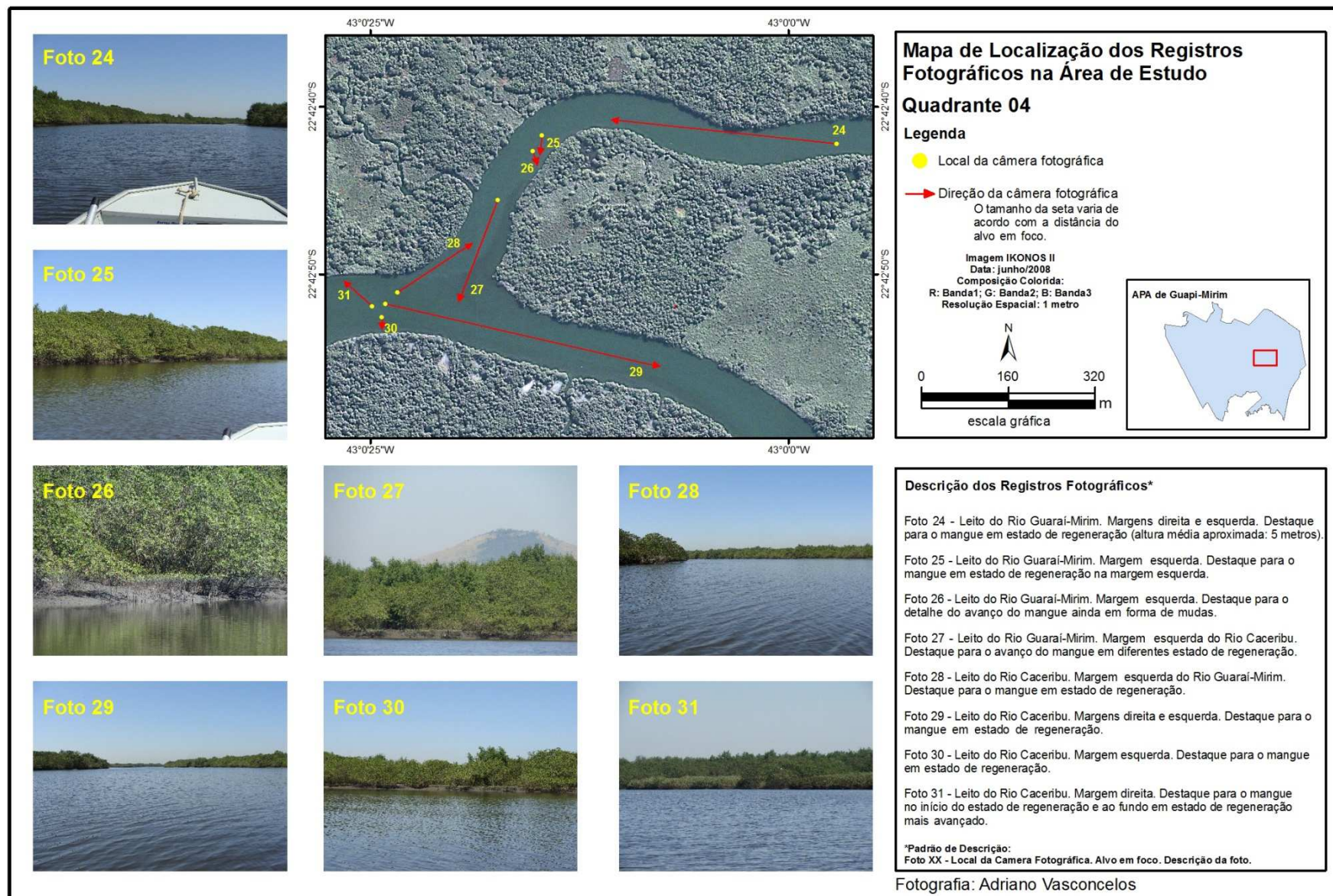


Figura 4.13 - Localização dos registros fotográficos na área de estudo (quadrante 04).

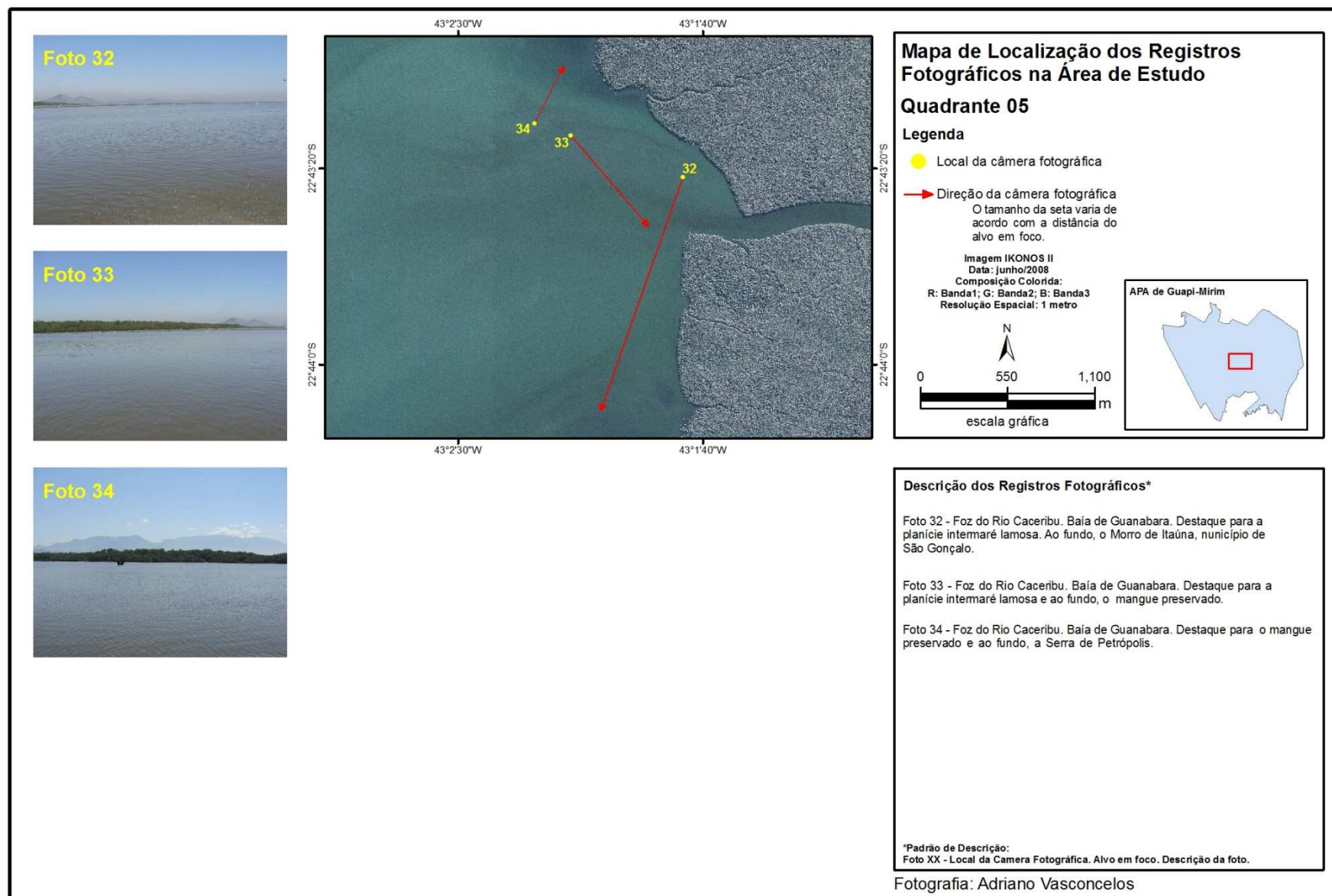


Figura 4.14 - Localização dos registros fotográficos na área de estudo (quadrante 05).



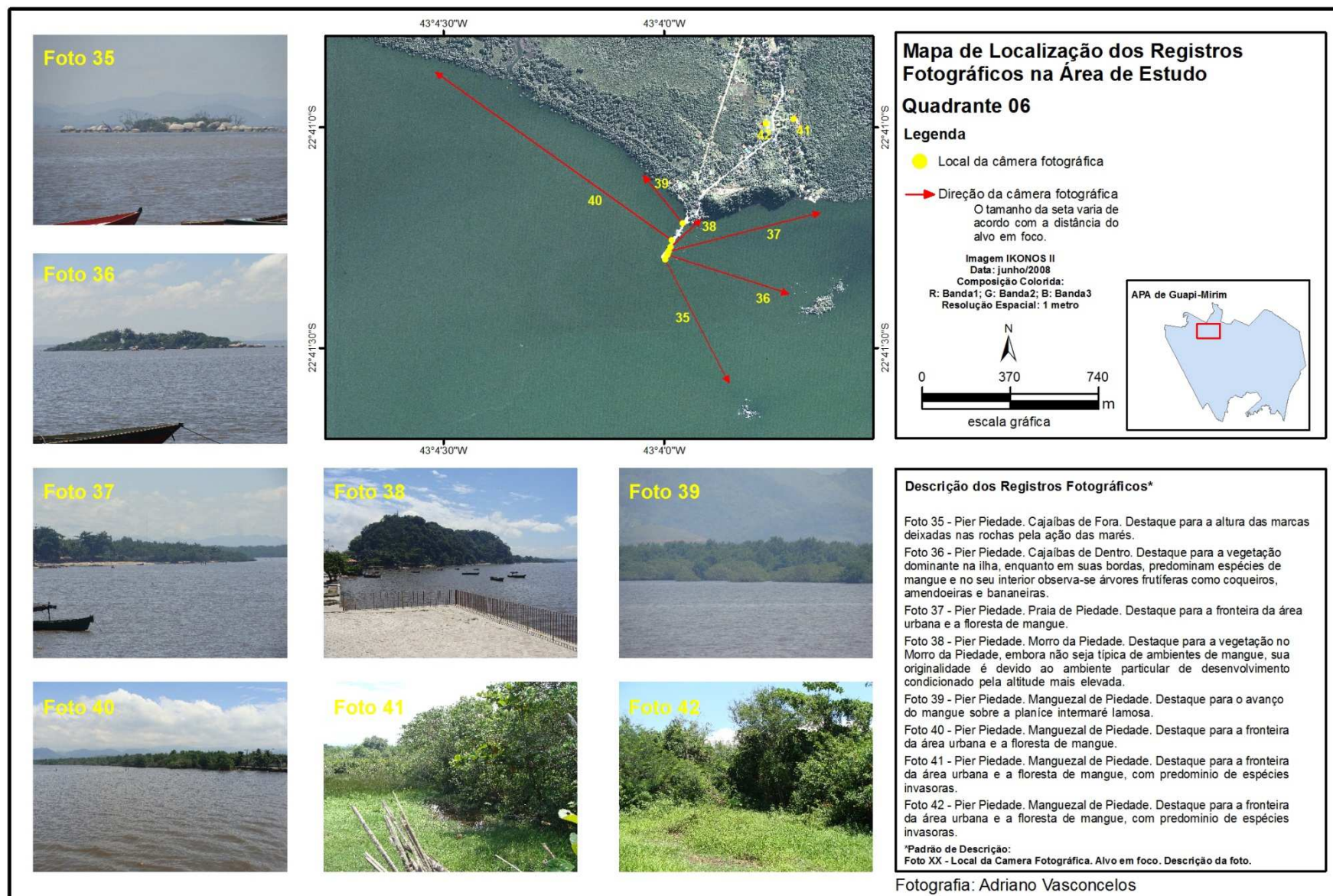


Figura 4.15 - Localização dos registros fotográficos na área de estudo (quadrante 06).



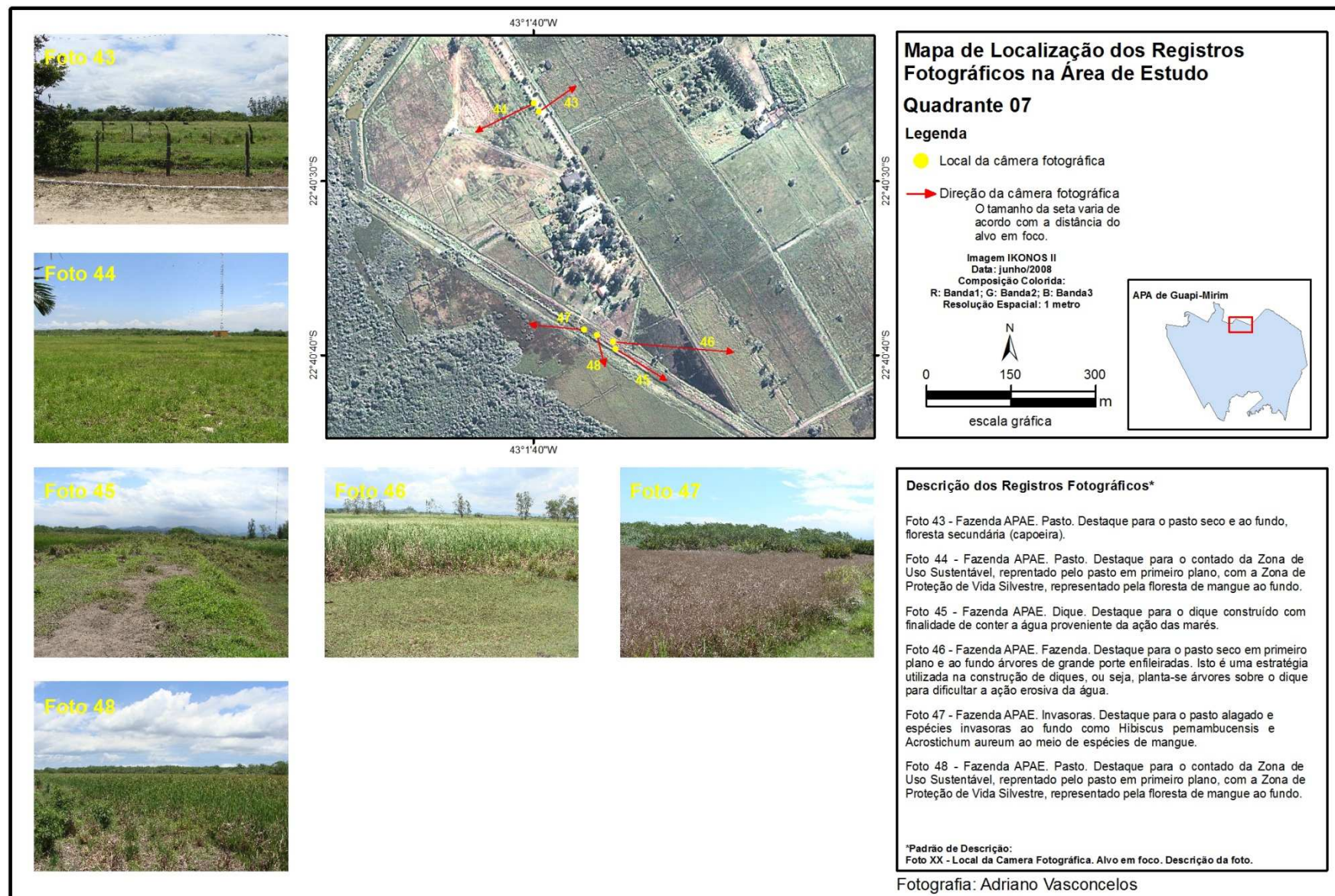


Figura 4.16 - Localização dos registros fotográficos na área de estudo (quadrante 07).



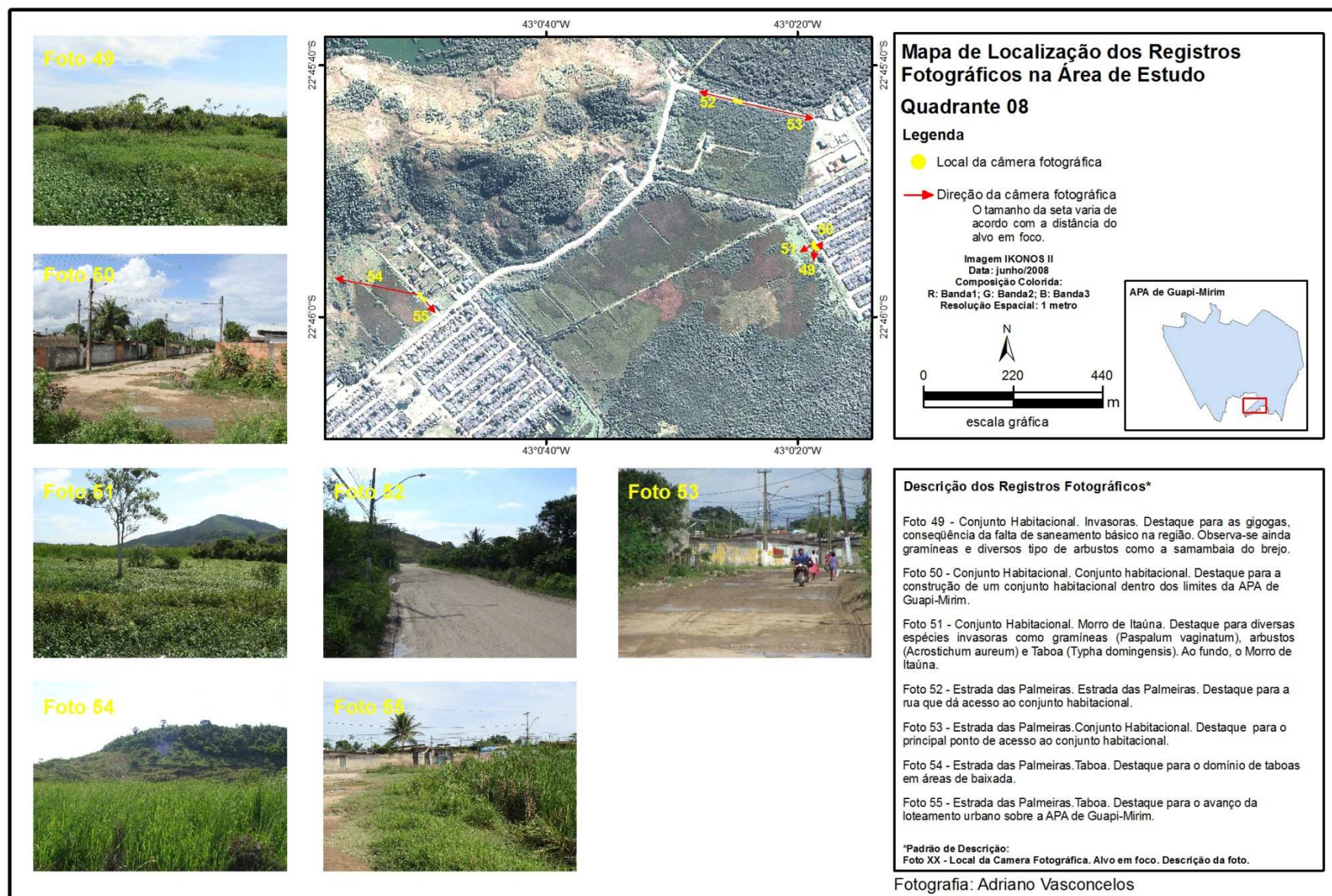


Figura 4.17 - Localização dos registros fotográficos na área de estudo (quadrante 08).

#### 4.5.2 Definição e Caracterização das Classes

Como mencionado no Capítulo 2, a APA de Guapi-Mirim é dividida em três zonas, as quais possuem características de uso e conservação específicas. Na Zona de Proteção da Vida Silvestre, as atividades antrópicas são bem restritas, o que permite a observação da evolução natural das espécies vegetais, tanto no sentido vertical (tamanho) quanto horizontal (expansão), ao longo dos anos, utilizando imagens IKONOS. Entretanto, a Zona de Uso Sustentável é mais tolerável quanto ao desenvolvimento de ações humanas, o que acarreta em uma alteração do uso do solo mais constante, principalmente nas seções de terras destinadas à agricultura e à pecuária. Nesta última, não existe uma área de pasto bem definida.

Desta forma, considerando que o zoneamento da APA de Guapi-Mirim é por lei um instrumento de permissão ou restrição, no que se refere às alterações de seu uso e cobertura do solo, faz-se pertinente a utilização dos limites de cada zona como uma classe de nível hierárquico superior.

A seleção e caracterização das sub-classes da Zona de Proteção da Vida Silvestre foram realizadas com base na sequência evolutiva das espécies vegetais observadas “*in situ*” no manguezal da APA de Guapi-Mirim. Nessa vegetação, também podem ser identificadas como elementos de interpretação a cor, tamanho, textura, forma e contexto, conforme representadas nas imagens IKONOS fusionadas.

A caracterização das sub-classes da Zona de Uso Sustentável também seguiu os mesmos critérios de identificação da Zona de Proteção da Vida Silvestre, porém utilizou-se o apoio de dados vetoriais que delimitam a própria Zona de Uso Sustentável e a sub-classe área urbana. Assim, a imagem IKONOS foi segmentada e classificada já considerando os limites definidos da Zona de Uso Sustentável e a área urbana no interior da APA de Guapi-Mirim, ou seja, estas classes não foram extraídas em função de suas características espectrais, textura, etc..

As sub-classes da Zona de Proteção da Vida Marinha foram identificadas com base nas características espectrais e texturais da imagem IKONOS e nas observações em campo.

Apesar da imagem IKONOS, por sua resolução métrica, permitir a identificação e caracterização das classes de uso e cobertura do solo no nível de detalhe correspondente a um mapeamento cadastral<sup>2</sup>, algumas classes exibidas no mapeamento do uso do solo do Plano de Manejo (como mostrado na Figura 2.6) não

---

<sup>2</sup> Mapeamento cadastral é uma representação cartográfica, geralmente em escala 1:10.000 ou maiores, destinada a fornecer informações muito detalhadas, visando, por exemplo, ao cadastro urbano (LOCK *et al.*, 2005).

foram consideradas no presente trabalho, de modo a evitar que a classificação do produto de sensoriamento remoto tivesse como resultado um número excessivo de classes.

Portanto, considerando as observações em campo, o Plano de Zoneamento da APA de Guapi-Mirim, o mapa de uso e cobertura do solo do Plano de Manejo da APA e os elementos de interpretação das imagens IKONOS dos anos 2006 e 2008, dezesseis sub-classes, distribuídas em três super-classes, foram discernidas. A descrição de cada sub-classe encontra-se disposta a seguir.

Na super-classe Zona de Proteção de Vida Marinha, foram consideradas três sub-classes, a saber:

- *Baía de Guanabara*: área de massa líquida correspondentes às águas da Baía de Guanabara à frente dos manguezais;
- *Rede de Drenagem*: representa a superfície líquida dos principais canais e rios. Pode incluir áreas alagadas ocasionalmente. Pequenos rios poderão ter sua identificação comprometida devido ao encobrimento das copas das árvores sobre seus leitos;
- *Planície Intermaré Lamosa*: seções de acúmulo de sedimentos flúvio-marinhos, cuja exposição é condicionada pela altura da maré. Estas unidades se formam, preferencialmente, nos estuários e tendem a apresentar geometria alongada.

Na super-classe Zona de Proteção de Vida Silvestre, foram consideradas as cinco sub-classes descritas a seguir:

- *Mangue Alterado com Solo Exposto*: seções com arbustos esparsos, substrato alterado e solo exposto evidente. Foram incluídos nesta classe os apicuns<sup>3</sup>, devido à sua baixa ocorrência na área de estudo e a seu comportamento espectral semelhante ao solo exposto. Salienta-se, porém, que sua fisiografia não se enquadra nas definições de mangue alterado com solo exposto;
- *Mangue Alterado com Gramíneas*: representa seções de arbustos esparsos com clara predominância de gramíneas, podendo haver solo exposto. Enquadram-se nesta classe as gramíneas que avançam sobre a planície intermaré lamosa, ou seja, este tipo de colonização de gramíneas não é

---

<sup>3</sup> Apicuns são áreas planas de elevada salinidade ou acidez, associadas a manguezais, desprovidas de vegetação ou com vegetação rasa, normalmente localizadas entre manguezais e as encostas próximas, na região de supra-maré, com sedimentos de granulometria variada (QUEIROZ & CELINO, 2008).

resultado de uma recuperação de uma área desmatada anteriormente, mas sim, o primeiro estágio de avanço da floresta de mangue;

- *Mangue Alterado com Invasoras*: seções de manguezal ocupadas por espécies invasoras, principalmente *Typha dominguensis*, *Hibiscus pernambucensis* e *Acrostichum aureum*. Embora estas espécies sejam perfeitamente adaptadas ao ambiente de manguezais, o termo “invasoras” se justifica por ocuparem áreas originalmente dominadas por mangue e por não oferecerem condições para o repovoamento destes;
- *Mangue em Regeneração*: seções de manguezal com unidades arbóreas de tamanho variando entre 3 a 5 metros de altura. Apresenta densidade média ou alta. Não há solo exposto;
- *Mangue Preservado*: seções de manguezal com predominância das três espécies de mangue (*Rizophora mangle*, *Avicenia schaueriana* e *Laguncularia racemosa*), com altura variando entre 5 a 15 metros.

O termo "*mangue alterado*" aplica-se à floresta de mangue que sofreu significativa alteração, em comparação com seu estado original, e que, por esta razão, se associou a algum outro elemento neste cenário, como solo exposto, gramíneas ou espécies vegetais *invasoras*. Outros elementos poderiam ser ainda citados; contudo, os tipos de *mangue alterado* apresentados neste trabalho são somente aqueles passíveis de identificação nas imagens IKONOS.

Na super-classe Zona de Uso Sustentável, foram consideradas as oito sub-classes definidas a seguir:




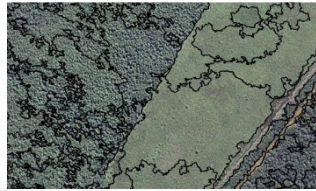






- *Área Urbana*: embora a imagem IKONOS permita o reconhecimento de feições características de áreas urbanas, tais como construções, asfalto e concreto, esta classe foi considerada como um todo, ou seja, não se pretende aqui particularizar objetos intra-urbanos;
- *Pasto Seco*: áreas com predominância de gramíneas, principalmente das espécies *Spartina alterniflora* e *Paspalum vaginatum*, ocupando terrenos recentemente desmatados ou seções de cultivo abandonadas;
- *Pasto Úmido*: áreas com predominância de gramíneas, principalmente das espécies *Spartina alterniflora* e *Typha dominguensis*, ocupando seções de difícil drenagem ou escoamento, devido ao acúmulo de água da chuva ou maré;
- *Solo Exposto*: áreas sem vestígio de cobertura vegetal;

- *Capoeira*: áreas com vegetação secundária composta por gramíneas e arbustos esparsos, podendo conter árvores de grande porte;
- *Área para Uso Agrícola*: seções que podem ser ocupadas por algum tipo de cultivo, podendo incluir pastos. Os trabalhos de campo não foram suficientes para constatar atividades atuais de uso agrícola no interior dos limites da APA de Guapi-Mirim, embora existam relatos históricos de cultivo pleno comprovado. Desta forma, achou-se prudente designar esta área como reservada para cultivo (*área para uso agrícola*), em razão dos registros bibliográficos (IBAMA & IBG, 2001; REIS, 2007; PIRES, 1986);
- *Diques*: representam obstáculos construídos com objetivo de controlar ou interceptar o curso de águas provenientes de regimes de maré ou da enchente dos rios (principalmente o Rio Guapi). Foi observado em campo que os diques têm finalidades múltiplas, tais como a formação de pequenos reservatórios de água ou também a construção de um sistema de drenagem para modificar o fluxo hidrodinâmico, evitando, assim, inundação ou alagamento. Estes diques também servem como acesso para a área de uso agrícola.
- *Mangue em Regeneração*: seções de manguezal com unidades arbóreas de tamanho variando entre 3 a 10 metros de altura. Apresenta densidade média ou alta. Não há solo exposto. Apesar do uso agropecuário e urbano ser permitido na Zona de Uso Sustentável, ainda é possível registrar espécies de mangue no local. O mangue presente nesta zona é resultado da regeneração da vegetação nativa, a qual foi desmatada anteriormente.

As três tabelas a seguir (Tabelas 4.4, 4.5 e 4.6) exibem um sumário das características de todas as classes e sub-classes, bem como suas respectivas descrições e amostras definidas neste trabalho.






Tabela 4.4 - Classes da Zona de Proteção da Vida Silvestre identificadas por elementos de interpretação da imagem IKONOS e observações em campo

Super-Classe	Sub-Classes	Descrição da Sub-Classe	Amostra na Imagem	Amostra Segmentada <sup>4</sup>	Descrição dos Objetos
Zona de Proteção da Vida Silvestre	<b>Mangue Alterado com Solo Exposto</b>	Seções com arbustos esparsos com substrato alterado e solo exposto evidente. Foram incluídas nesta classe as áreas de apicuns.			Textura pouco rugosa; objetos de tamanho variado e tonalidade escura, bem como assimétricos.
	<b>Mangue Alterado com Gramíneas</b>	Seções com arbustos esparsos com clara predominância de gramíneas, podendo haver solo exposto.			Textura lisa; objetos de tamanho variado, tonalidade verde claro e assimétricos.
	<b>Mangue Alterado com Invasoras</b>	Seções de manguezal ocupadas por espécies invasoras, principalmente <i>Typha dominguensis</i> , <i>Hibiscus pernambucensis</i> e <i>Acrostichum aureum</i> .			Textura pouco rugosa; objetos de tamanho pequeno, tonalidade variando de marrom claro até verde escuro e assimétricos.
	<b>Mangue em Regeneração</b>	Seções de manguezal com unidades arbóreas de tamanho variando entre 3 a 5 metros de altura. Apresenta densidade média ou alta. Não há solo exposto.			Textura bem rugosa; objetos de tamanho médio a grande, com tonalidade de verde escura a verde clara.
	<b>Mangue Preservado</b>	Seções de manguezal com predominância das três espécies de mangue ( <i>Rizophora mangle</i> , <i>Avicenia schaueriana</i> e <i>Laguncularia racemosa</i> ) com altura variando entre 5 a 15 metros.			Textura bem rugosa; objetos de tamanho regular e tonalidade verde escura.

<sup>4</sup> O processo de segmentação das imagens será explicitado em um item específico adiante.


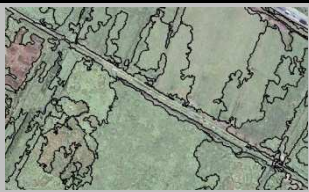




Tabela 4.5 - Classes da Zona de Uso Sustentável identificadas por elementos de interpretação da imagem IKONOS e observações em campo

Super-Classe	Sub-Classes	Descrição da Sub-Classe	Amostra na Imagem	Amostra Segmentada <sup>5</sup>	Descrição dos Objetos
Zona de Uso Sustentável	Área Urbana	Representa um todo composto por construções, com feições características de alvenaria, asfalto e concreto.			Objetos de tamanho regular, simétricos, com tendência retangular, e tonalidade cinza escura a cinza clara.
	Pasto Seco	Áreas com predominância de gramíneas principalmente das espécies <i>Spartina alterniflora</i> e <i>Paspalum vaginatum</i> , ocupando terrenos recentemente desmatados ou seções de cultivo abandonadas.			Textura lisa; objetos de tamanho variado com tonalidade verde clara.
	Pasto Úmido	Áreas com predominância de gramíneas, principalmente das espécies <i>Spartina alterniflora</i> e <i>Typha dominguensis</i> , ocupando seções de difícil drenagem ou escoamento, devido ao acúmulo de água da chuva ou maré.			Textura lisa, objetos relativamente maiores devido à sua homogeneidade, e tonalidade marrom escura.
	Solo Exposto	Áreas sem vestígio de cobertura vegetal.			Textura pouco rugosa; objetos de tamanho variado, com tonalidade em vermelho.
	Capoeira	Áreas com vegetação secundária composta por gramíneas e arbustos esparsos, podendo conter árvores de grande porte.			Textura bem rugosa; com objetos de tamanho variado e tonalidade verde escura a verde clara.

<sup>5</sup> O processo de segmentação das imagens será explicitado em um item específico adiante.






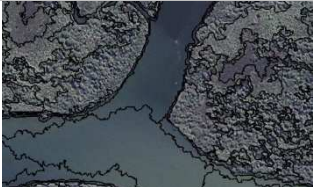


Tabela 4.5 - Classes da Zona de Uso Sustentável identificadas por elementos de interpretação da imagem IKONOS e observações em campo (cont.)

Super-Classe I	Sub-Classe	Descrição da Sub-Classe	Amostra na Imagem	Amostra Segmentada <sup>6</sup>	Descrição dos Objetos
Zona de Uso Sustentável	<b>Área para Uso Agrícola</b>	Seções que podem ser ocupadas por algum tipo de cultivo, porém podendo incluir pastos.			Textura lisa; objetos de tamanho variável, tonalidade verde clara e avermelhada, simétricos com tendência retangular.
	<b>Diques</b>	Ostáculos construídos com objetivo de controlar ou interceptar o curso de águas provenientes de regimes de maré ou da enchente dos rios (principalmente o Rio Guapi).			Textura pouco rugosa; objetos de tamanho regular, com tonalidade vermelha escura a verde clara e formas simétricas alongadas.
	<b>Mangue em Regeneração</b>	Seções de manguezal com unidades arbóreas de tamanho variando entre 3 a 5 metros de altura. Apresenta densidade média ou alta. Não há solo exposto.			Textura bem rugosa; com objetos de tamanho variado e tonalidade verde escura predominante.

<sup>6</sup> O processo de segmentação das imagens será explicitado em um item específico adiante.



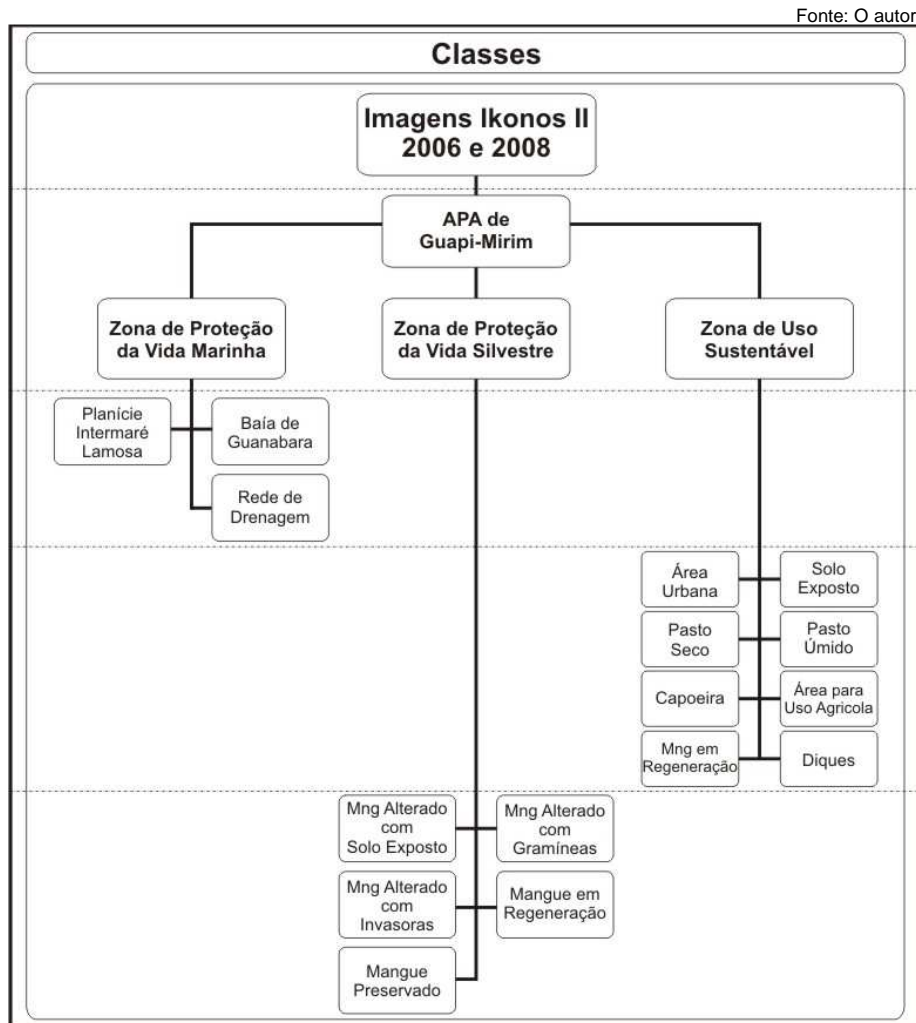
Tabela 4.6 - Classes da Zona de Proteção da Vida Marinha identificadas por elementos de interpretação da imagem IKONOS e observações em campo

Super-Classe	Sub-Classe	Descrição da Sub-Classe	Amostra na Imagem	Amostra Segmentada <sup>7</sup>	Descrição dos Objetos
Zona de Proteção da Vida Marinha	Baía de Guanabara	Área de massa líquida de águas da Baía de Guanabara à frente dos manguezais			Textura lisa; objetos de tamanho regular, com tonalidade escura a azul escura e formas simétricas.
	Rede de Drenagem	Representa a superfície líquida dos principais canais e rios. Pode incluir áreas alagadas ocasionalmente.			Textura lisa; objetos de tamanho regular, com tonalidade escura a amarela clara (sedimentos em suspensão) e formas simétricas alongadas.
	Planície Intermaré Lamosa	Seções de acúmulo de sedimentos flúvio-marinhos, cuja exposição é condicionada pela altura da maré.			Textura pouco rugosa; com objetos de tamanho variado, tonalidade amarela clara ao azul escura. Formas assimétricas.

<sup>7</sup> O processo de segmentação das imagens será explicitado em um item específico adiante.

### 4.5.3 Rede Semântica

Um passo fundamental na presente pesquisa é representado pela elaboração da rede semântica, pois esta explicita o conhecimento do espaço territorial sob a forma organizada de visualização das relações hierárquicas das classes. A rede semântica também tem grande importância na definição dos níveis de segmentação e na estruturação dos grupos de objetos no processo de classificação.



**Figura 4.18 - Rede semântica para caracterização do uso e cobertura do solo da APA de Guapi-Mirim.**

A Figura 4.18 exibe a rede semântica estruturada para a caracterização e classificação relevantes no monitoramento do uso e cobertura do solo da APA de Guapi-Mirim. Esta rede estabelece uma relação entre as classes em um mesmo nível hierárquico, bem como relações entre níveis superiores e inferiores, além de servir como estrutura para a segmentação multiresolução da imagem.

#### 4.5.4 Segmentação Multiresolução

A segmentação foi utilizada para dividir as imagens em partes que correspondem a objetos reais. O método empregado na pesquisa foi a segmentação por multiresolução com base em características espaciais e espectrais. Num primeiro momento, ocorreu a escolha dos parâmetros de segmentação (grau de homogeneidade de forma e cor) que permitem um agrupamento de objetos conforme a resolução mais fina possível.

No processo de segmentação das imagens IKONOS, foram utilizados arquivos vetoriais correspondente aos limites da APA de Guapi-Mirim, aos limites da Zona de Uso Sustentável e aos limites da área urbana dentro da APA. Desta forma, a segmentação, além de seguir critérios de cor, forma, compacidade e suavidade, também obedeceu o traçado destes arquivos vetoriais, também chamados de *thematic layers* (planos temáticos).

#### 4.5.5 Definição de Atributos

Para cada um dos níveis de segmentação, foram coletadas amostras de objetos representáveis numérica e espacialmente nas imagens. Tais amostras foram classificadas manualmente, de modo a permitir a extração das medidas dos descritores através de análises de histogramas, conforme mostrado na Figura 4.19. Tal procedimento permite uma compreensão do comportamento das classes de objetos criados pela segmentação (ROCHA, 2007). A espacialização dos atributos através de suas características em cada segmento também possibilita a identificação de limiares de valor para agrupar estes segmentos em classes.

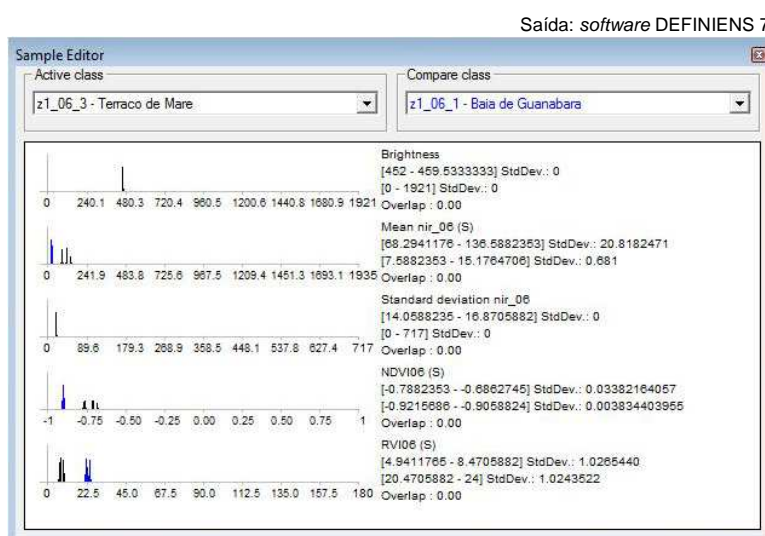


Figura 4.19 - Histograma exibindo características espectrais de duas classes definidas manualmente na imagem IKONOS 2006.

É necessário reconhecer que, apesar do grande número de descritores oferecido pelo *software* Definiens 7.0, há grande redundância quanto ao seu comportamento. Tal fato requer que outras técnicas de classificação sejam aplicadas, como, por exemplo, identificar objetos pelo seu contexto ou por sua forma, quando possível.

#### **4.5.6 Classificação**

Nesta pesquisa, foi utilizada a classificação orientada a objetos, que fornece como resultado níveis hierárquicos de objetos representativos nas cenas processadas. Numa primeira etapa, o conhecimento é representado por uma rede semântica, criada a partir de um arcabouço hierárquico (Figura 4.18). A seguir, são introduzidas as funções de pertinência *fuzzy* ou funções booleanas (neste caso, quando os limiares que separam uma classe da outra são bem definidos). A execução de tal tarefa se apoia nos descritores espectrais, forma e textura, de acordo com a especificidade de cada feição. A categorização de um objeto é dada por seu grau de pertinência a uma classe específica. A existência de determinada classe pode depender de diferentes funções de pertinência (ANTUNES, 2003).

#### **4.6 - Avaliação da Classificação**

Para avaliar os resultados da classificação das imagens obtidas nos anos de 2006 e 2008, é necessário criar a matriz de erros que compara os dados classificados com os dados de referência. Para a definição dos dados de referência, várias técnicas são disponíveis. A escolha do método mais eficiente depende da resolução da imagem, tamanho da área de estudo, número de classes consideradas e método de classificação, dentre outros fatores. É com base nestas características que o plano de amostragem é desenhado, considerando a unidade a ser empregada, a sua quantidade de amostras por classe e o modelo de coleta.

As imagens IKONOS favorecem o reconhecimento de alvos terrestres utilizando apenas a análise visual, devido à sua alta resolução espacial e radiométrica. Por esta razão, as imagens IKONOS utilizadas para classificação neste trabalho também serviram de apoio para elaborar a base de dados de referência. Assim, surge a necessidade de apurar a unidade de representação das amostras. Conforme CONGALTON & GREEN (1999), de acordo com o projeto ou análise, é possível selecionar para unidades de amostragem um *pixel* particular, agregados de *pixels* (e.g., 3x3), polígonos ou agregados de polígonos. O autores ressaltam a importância de preservar a homogeneidade interna da unidade adotada (exceto o *pixel*), de forma

a evitar conflitos no âmbito de cada amostra. Como foi discutido no Capítulo 3, o processo de segmentação multiresolução emprega critérios de homogeneidade e parâmetros de escala definidos pelo usuário. Portanto, é possível criar um nível de segmentação dedicado à seleção de amostras para dados de referência, privilegiando critérios de homogeneidade e refinando o parâmetro de escala.

Definida a unidade amostral, deve-se, então, mensurar a quantidade de amostras por classe. De acordo com CONGALTON & GREEN (1999), se em uma classificação houver mais de 12 classes, o número mínimo de amostras consideradas deve estar entre 75 e 100 amostras por classe. O número de amostras para cada categoria deve ser ajustado, tendo em vista a importância relativa daquela categoria com respeito aos objetivos do mapeamento temático. Deve também ser levada em conta a variabilidade inerente a cada categoria.

Para concluir o plano de amostragem, resta definir o modelo de coleta ou seleção das amostras. No presente trabalho, as amostras de referência relativas a cada classe foram obtidas por amostragem aleatória estratificada uniforme, ou seja, sorteia-se igual número de amostras para cada classe. Segundo CONGALTON & GREEN (1999), a maior vantagem deste método reside no fato de garantir que todas as classes, independente de sua proporção espacial, sejam contempladas na amostragem.

A aleatoriedade na coleta das amostras se justifica pelo fato do especialista já ter realizado anteriormente uma amostragem durante o processo de treinamento de algoritmos para classificar as imagens (vide item 4.5.5). Isto, portanto, poderia influenciar o especialista na coleta de amostras de referência caso utilizasse o método de amostragem por julgamento, o qual se baseia em sua livre escolha.

Concluído o plano de amostragem, pode-se construir a matriz de confusão ou erro. Os resultados de referência são colocados nas colunas da matriz, sendo que, nas linhas correspondentes à diagonal principal, insere-se o número de observações classificadas corretamente. A partir da matriz de confusão, é possível calcular algumas medidas descritivas como a exatidão global, do usuário e do produtor. Outro índice freqüentemente utilizado para avaliar os mapas derivados da classificação de imagens de satélite, a partir da matriz de confusão, é o índice de concordância Kappa, como explicitado no Capítulo 3.

#### **4.7 - Detecção de Mudanças**

Depois da validação da classificação das imagens IKONOS adquiridas nos anos 2006 e 2008, o próximo passo consiste na identificação das mudanças semânticas ocorridas em cada objeto classificado (ano 2008 em relação ao ano 2006). Considerando que as sub-classes de cada super-classe foram classificadas em níveis de segmentação diferentes, torna-se necessário agregá-las em um único nível de segmentação para cada ano.

A partir destes dois níveis de segmentação classificados, basta gerar três regras simples do tipo “*relação com sub objetos*” para cada classe. Cada regra tem seu resultado visualizado em uma classe específica, ou seja, para cada classe são geradas três novas classes, cada uma com sua regra específica, as quais descrevem três situações: o acréscimo da classe  $x$  (o objeto não pertencia à classe  $x$  em 2006 e passou a ela pertencer em 2008); o decréscimo da classe  $x$  (o objeto pertencia à classe  $x$  em 2006 e deixou de fazê-lo em 2008); não mudança da classe  $x$  (o objeto pertencia à classe  $x$  em 2006 e permaneceu como tal em 2008).

De posse de todas as classes de mudanças e não mudanças, mapas, gráficos e histogramas são confeccionados e analisados para cada situação, de forma a identificar tendências de mudanças, áreas que merecem maiores investigações, não conformidades, etc.

#### **4.8 - Refinamento da Carta SAO da APA de Guapi-Mirim**

Os resultados da análise multitemporal sobre as classificações das imagens IKONOS de 2006 e 2008 serviram como subsídio para entender a dinâmica evolutiva das classes estudadas no presente trabalho. Estas observações permitiram identificar setores da linha de costa da APA de Guapi-Mirim que justificam melhor detalhamento em seu Índice de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo, resultando em uma graduação mais específica.

Faz-se necessário reconhecer, contudo, que as Cartas de Sensibilidade a Derrame de Óleo que compõem a APA de Guapi-Mirim (ANEXOS I, II e III) classificam, com extrema fundamentação técnica, cada setor da linha de costa, considerando tanto os recursos biológicos quanto as atividades sócio-econômicas.

## CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste Capítulo, serão abordados os resultados encontrados pelas técnicas de segmentação e classificação orientada a objetos das imagens IKONOS obtidas nos anos 2006 e 2008. Será também apresentada a validação da classificação através da composição da matriz de confusão e o índice de concordância Kappa. Finalmente, serão detectadas e analisadas as mudanças do uso e cobertura do solo na APA de Guapi-Mirim, o que servirá como insumo para a atualização das Cartas SAO na região.

### 5.1 - Segmentação

O processo de segmentação multiresolução gerou objetos em três níveis distintos, os quais variam de acordo com as propriedades espaciais das feições que se desejou identificar. Assim, o parâmetro de escala de cada nível foi determinado de maneira que os objetos criados representassem, mais fielmente possível, os contornos dos alvos pretendidos. Todas as bandas das duas imagens foram segmentadas simultaneamente. Esta estratégia é fundamental para a construção de uma rede hierárquica que permita obter níveis de segmentação comuns nos dados correspondentes aos anos de 2006 e 2008. Tal procedimento favorecerá a extração das classes de mudanças sobre objetos de mesma expressão espacial em ambas as imagens. A Figura 5.1 apresenta os objetos identificados em cada nível de execução da segmentação.

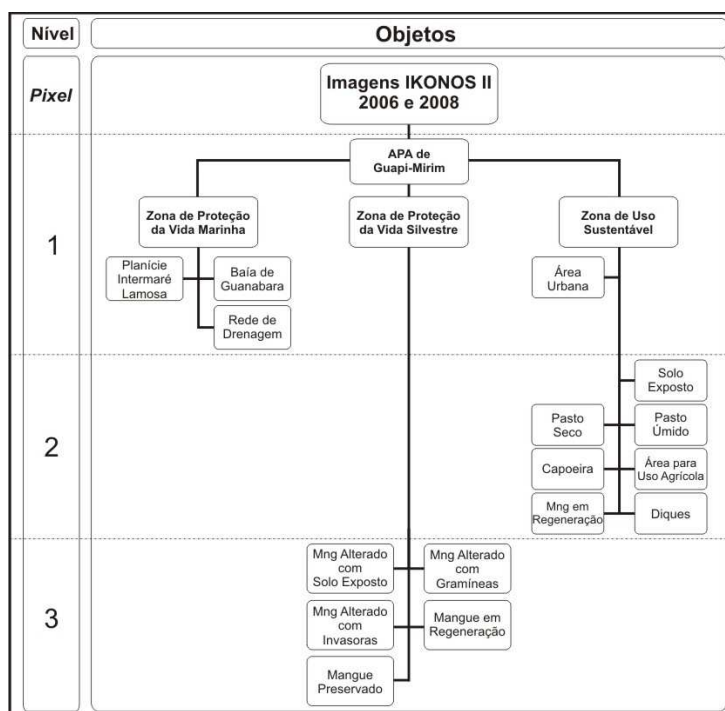


Figura 5.1 - Objetos identificados em cada nível de execução da segmentação.

A Tabela 5.1 ilustra os parâmetros utilizados em cada nível de execução da segmentação das imagens IKONOS de 2006 e 2008. Cada nível possui parâmetros específicos para a identificação dos objetos de interesse.

O Nível I possui o menor parâmetro de escala e, portanto, a maior quantidade de objetos. Este Nível foi resultado da segmentação direta sobre as características dos *pixels* das imagens IKONOS. Além disso, outro objetivo foi segmentar a imagem considerando os arquivos vetoriais dos limites da APA de Guapi-Mirim, do super-objeto Zona de Uso Sustentável e do sub-objeto Área Urbana. Tais unidades foram extraídas sem utilizar qualquer elemento de interpretação ou características das imagens IKONOS. Com efeito, o primeiro nível de segmentação de uma imagem, independente dos valores de atributos, sempre deverá considerar os *layers* temáticos como parte de seus parâmetros. Assim, o Nível I está configurado para identificar, através das características específicas das imagens IKONOS, os objetos componentes da Zona de Proteção da Vida Marinha. No entanto, todas as outras unidades espaciais que possuem limites em formato vetorial definidos previamente foram também consideradas no primeiro nível de segmentação.

Para o Nível I, foi atribuído o mesmo peso para os parâmetros cor e forma. Procurou-se com esse procedimento identificar, por características espectrais e de forma, os cursos d'água, visto que possuem boa resposta espectral e formato geométrico bem característico. O parâmetro de escala considerado se justifica pela necessidade de identificar pequenos rios ou córregos, cujos cursos são freqüentemente encobertos pelas copas das árvores dos manguezais. Essa limitação torna necessária a obtenção de maior detalhe de segmentos.

O Nível II detalha os demais objetos do super-objeto Zona de Uso Sustentável. Assim, apenas tais feições foram consideradas nas configurações desse nível. O objetivo foi identificar objetos que estão sob influência das ações antrópicas, tais como áreas para cultivos, pastos, solo exposto, entre outros. Para tanto, o atributo cor se sobressaiu em relação ao atributo forma, embora os objetos representativos dos diques possuam uma disposição no terreno mais alongada. Apesar disso, os diques tiveram boa expressão dentre os objetos segmentados.

O Nível III procurou detalhar o super-objeto Zona de Proteção da Vida Silvestre. Desse modo, apenas os objetos referentes a esta zona corresponderam aos dos parâmetros do Nível III. Neste caso, a escala assumida foi maior do que nos níveis anteriores. Tal procedimento foi adotado para identificar grandes áreas onde a vegetação se encontra homogeneamente distribuída. Além disso, as mudanças no



estado da vegetação ocorrem, habitualmente, de forma abrupta, o que favorece a detecção pela resposta espectral.

**Tabela 5.1 - Configuração detalhada de cada nível de execução da segmentação das imagens IKONOS II de 2006 e 2008**

Nível	Objetos de Interesse	Parâmetros					
I	APA de Guapi-Mirim; Zona de Proteção Marinha; <i>Baía de Guanabara;</i> <i>Drenagem;</i> <i>Planície Intermaré Lamosa;</i> Zona de Uso Sustentável; <i>Área Urbana.</i>	<b>Escala</b>	120	<b>Bandas 2006</b>	<b>Peso</b>	<b>Bandas 2008</b>	<b>Peso</b>
		<b>Atributos</b>		Red	1	Red	1
		<i>Cor</i>	0,5	Green	1	Green	1
		<i>Forma</i>	0,5	Blue	1	Blue	1
		<i>Compacidade</i>	0,5	NIR	2	NIR	2
		<i>Suavidade</i>	0,5				
		<b>Thematic Layer :</b>	APA Guapi-Mirim / Área Urbana / Zona de Uso Sustentável				
		<b>Image Object Domain :</b>	Imagens IKONOS 2006 e 2008				
		<b>Número de Objetos :</b>	78.047				
II	<i>Solo Exposto;</i> <i>Pasto Seco;</i> <i>Pasto Úmido;</i> <i>Capoeira;</i> <i>Área para Uso Agrícola;</i> <i>Mangue em Regeneração;</i> <i>Diques.</i>	<b>Escala</b>	140	<b>Bandas 2006</b>	<b>Peso</b>	<b>Bandas 2008</b>	<b>Peso</b>
		<b>Atributos</b>		Red	1	Red	1
		<i>Cor</i>	0,7	Green	1	Green	1
		<i>Forma</i>	0,3	Blue	1	Blue	1
		<i>Compacidade</i>	0,8	NIR	2	NIR	2
		<i>Suavidade</i>	0,2				
		<b>Thematic Layer :</b>	APA Guapi-Mirim / Área Urbana / Zona de Uso Sustentável				
		<b>Image Object Domain :</b>	Zona de Uso Sustentável				
		<b>Número de Objetos :</b>	37.608				
III	Zona de Proteção da Vida Silvestre; <i>Mangue Alterado com Solo Exposto;</i> <i>Mangue Alterado com Gramíneas;</i> <i>Mangue Alterado com Invasoras;</i> <i>Mangue em Regeneração;</i> <i>Mangue Preservado.</i>	<b>Escala</b>	200	<b>Bandas 2006</b>	<b>Peso</b>	<b>Bandas 2008</b>	<b>Peso</b>
		<b>Atributos</b>		Red	1	Red	1
		<i>Cor</i>	0,9	Green	1	Green	1
		<i>Forma</i>	0,1	Blue	1	Blue	1
		<i>Compacidade</i>	0,8	NIR	2	NIR	2
		<i>Suavidade</i>	0,2				
		<b>Thematic Layer :</b>	APA Guapi-Mirim / Área Urbana / Zona de Uso Sustentável				
		<b>Image Object Domain :</b>	Zona de Proteção da Vida Silvestre				
		<b>Número de Objetos :</b>	24.584				

## 5.2 - Classificação

Concluído o processo de segmentação, o próximo passo é buscar o significado temático de cada objeto gerado nesse procedimento. Com tal finalidade, é necessário procurar atributos que melhor identifiquem os objetos para uma determinada classe. Como mencionado no ítem anterior, algumas classes já foram moldadas no processo de segmentação, o que facilita a sua classificação sem maiores dificuldades e sem a existência de ruídos intra-classe.

Para as demais classes, entretanto, os ruídos intra-classe foram classificados em função do contexto de seus vizinhos, ou seja, o ruído foi incluído na classe vizinha que apresentou maior relação de borda. Ressalta-se que o fato de um objeto-ruído ter maior relação de fronteira com um objeto vizinho de uma determinada classe não garante que esse objeto pertença a esta classe. Contudo, observações dos erros inerentes a esse critério de classificação não foram suficientes para invalidá-lo. Assim, tal estratégia foi adotada para todos os níveis classificados.

Embora os dados IKONOS de 2006 e 2008 tenham sido segmentados dentro de um mesmo conjunto, gerando níveis de segmentação correspondentes nas duas imagens, o processo de classificação não seguiu a mesma estratégia. Assim, a imagem de 2006 foi classificada de forma independente daquela de 2008. Salienta-se que os descritores utilizados para discriminar uma determinada classe na imagem de 2006 podem ser eficientes para identificar a mesma classe na imagem de 2008. No entanto, seus valores foram necessariamente diferentes, devido, principalmente, à interferência na iluminação causada pela diferença do ângulo de elevação solar no momento da aquisição dos dados IKONOS.







### 5.2.1 Imagem IKONOS 2006

Para classificar a imagem IKONOS 2006, dezenas de descritores oferecidos pelo *software* Definiens 7 foram testados e ainda outros foram criados. Dentre estes, o RVI (*Ratio Vegetation Index*) foi fundamental para separar a super-classe Zona de Proteção da Vida Marinha das demais.

A Tabela 5.2 apresenta a descrição das funções utilizadas para discriminar cada classe do Nível I. A classe APA de Guapi-Mirim separa os objetos que fazem parte da área de estudo daqueles que estão além dos seus limites. As sub-classes *Baía de Guanabara*, *Rede de Drenagem* e *Planície Intermaré Lamosa* são hierarquicamente inferiores à super-classe Zona de Proteção da Vida Marinha. Por

consequente, os algoritmos utilizados para as sub-classes não podem negar aos parâmetros empregados na super-classe.

**Tabela 5.2 - Descrição das funções utilizadas em cada classe do nível I (Imagem IKONOS 2006)**

Nível	Classe	Operador	Parâmetro	Função	Intervalo
I	APA de Guapi-Mirim	and(min) <sup>8</sup>	<i>Number of overlapping thematic objects</i>		[0 - 2]
	Zona de Prot. da Vida Marinha	and(min)	RVI_2006		[1,3 – 29,83]
	<i>Drenagem</i>	and(min)	Lenght/Width		[2 – 24,5]
	<i>Planície Intermaré Lamosa</i>	and(min)	RVI_2006		[1,3 – 9,5]
	<i>Baía de Guanabara</i>	and(min)	<i>not</i> (Drenagem) and (Planície Intermaré Lamosa)	-----	-----
	Zona de Uso Sustentável	and(min)	<i>Number of overlapping thematic objects</i>		[1]
	<i>Área Urbana</i>	and(min)	<i>Number of overlapping thematic objects</i>		[1]

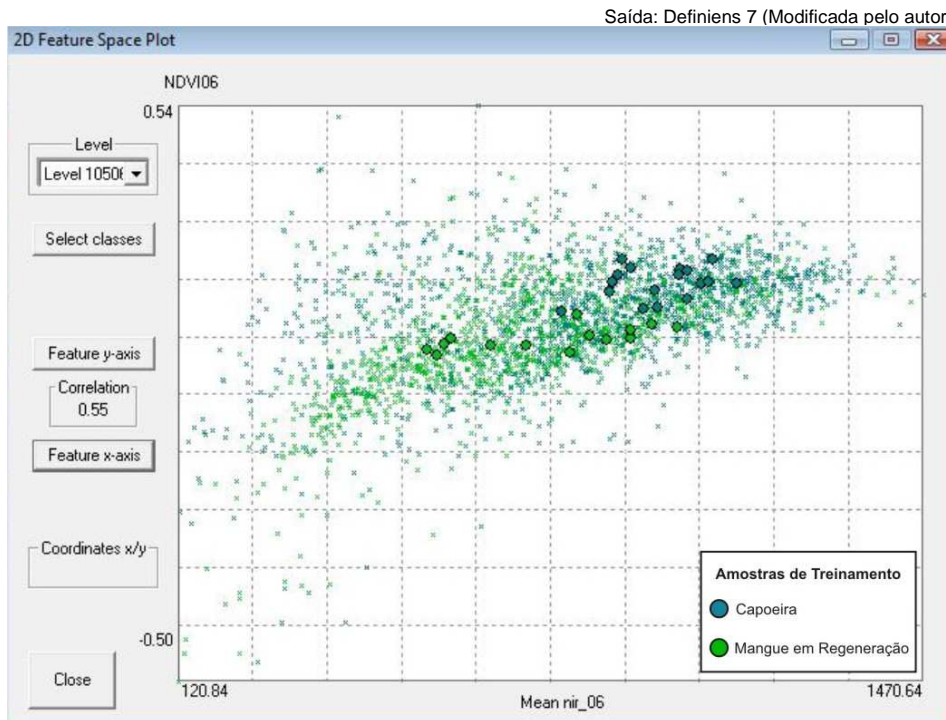
A Tabela 5.3 ilustra a descrição das funções utilizadas para discriminar as classes do Nível II, que correspondem aos objetos da super-classe Zona de Uso Sustentável. Para algumas dessas classes foram necessárias duas ou mais combinações de funções para realizar a classificação de maneira satisfatória. Outras classes exibiram um limite de separação pouco preciso, como no caso de Mangue em Regeneração e Capoeira.

<sup>8</sup> O operador and(min) corresponde  $A \cap B = \min(\mu_A; \mu_B)$

**Tabela 5.3 - Descrição das funções utilizadas em cada classe do nível II (Imagem IKONOS 2006)**

Nível	Classe	Operador	Parâmetro	Função	Intervalo
II	<i>Solo Exposto</i>	and(min)	<i>Brightness</i>		[590 - 800]
		and(min)	<i>Mean red</i>		[780 - 1010]
	<i>Pasto Úmido</i>	and(min)	<i>Brightness</i>		[405 - 505]
		and(min)	<i>Mean red</i>		[505 - 580]
	<i>Capoeira</i>	and(min)	NDVI_2006		[0,169 – 0,27]
	<i>Diques</i>	and(min)	<i>Lenght/Width</i>		[4 – 24,5]
	<i>Área para Uso Agrícola</i>	and(min)	<i>Brightness</i>		[885 - 1045]
		and(min)	<i>Mean red</i>		[875 - 1067]
		and(min)	<i>Relations Border to (Diques)</i>		]0 - 1]
	<i>Mangue em Regeneração</i>	and(min)	NDVI_2006		[0,82 – 0,168]
and(min)		<i>Distance to (Drenagem (m))</i>		[550 - 600]	
<i>Pasto Seco</i>	and(min)	<i>not (todas as classes)</i>	-----	-----	

A Figura 5.2 mostra que o limite de entre estas classes não é bem definido no parâmetro *Mean NIR*, porém é possível uma separação utilizando o NDVI, ainda que não totalmente precisa. Com o objetivo de não gerar um alto ruído intra-classe, acrescentou-se na classe Mangue em Regeneração uma função de proximidade com os rios, já que se verificou nas imagens IKONOS e comprovou-se nas observações em campo que o mangue em regeneração na Zona de Uso Sustentável ocorre predominantemente nas margens ou cercanias dos cursos d'água.



**Figura 5.2 - Correlação entre os parâmetros NDVI e Mean NIR para duas classes.**

A Tabela 5.4 exibe a descrição das funções utilizadas para classificar os objetos do Nível III. Como mencionado anteriormente, a Zona de Proteção de Vida Marinha foi extraída por características espectrais, enquanto que a Zona de Uso Sustentável foi definida por um *thematic layer*. Logo, considerando que a APA de Guapi-Mirim subdivide-se em três zonas, a terceira delas é composta por objetos que não pertencem às duas primeiras. Desse modo, a Zona de Proteção da Vida Silvestre não utilizou em sua definição, nem recursos espectrais, nem o auxílio de limites vetoriais previamente definidos, mas objetos preteridos (*unclassified*) pela classificação das duas outras zonas.

Os descritores de textura foram fundamentais para classificar os objetos que compõem a Zona de Proteção de Vida Silvestre, especialmente o parâmetro GLCM *Dissimilarity*, na banda NIR. Todas as sub-classes tiveram o apoio, em sua definição, de funções de textura, aliadas a funções de caráter espectral. Cada combinação gerou uma regra peculiar para cada classe.

**Tabela 5.4 - Descrição das funções utilizadas em cada classe do nível III (Imagem IKONOS 2006)**

Nível	Classe	Operador	Parâmetro	Função	Intervalo
III	Zona de Proteção da Vida Silvestre	and(min)	<i>Classified as unclassified</i>		[1]
	<i>Mangue Preservado</i>	and(min)	NDVI_2006		[-0,01 – 0,2]
		and(min)	<i>Texture GLCM Dissimilarity (8/11) NIR_2006 (all dir)</i>		[15,5 - 16]
	<i>Mangue Alt. com Solo Exposto</i>	and(min)	<i>Brightness</i>		[0 - 680]
		and(min)	<i>Texture GLCM Dissimilarity (8/11) NIR_2006 (all dir)</i>		[0 - 14]
	<i>Mangue Alt. com Gramíneas</i>	and(min)	<i>Brightness</i>		[670 - 700]
		and(min)	<i>Texture GLCM Dissimilarity (8/11) NIR_2006 (all dir)</i>		[0 – 14,5]
and(min)		NDVI_2006		[0,16 – 0,294]	
<i>Mangue Alt. com Invasoras</i>	and(min)	<i>Brightness</i>		[400 - 420]	
	and(min)	<i>Texture GLCM Dissimilarity (8/11) NIR_2006 (all dir)</i>		[14 - 40]	
<i>Mangue em Regeneração</i>	and(min)	<i>not (todas as classes)</i>	-----	-----	

### 5.2.2 Imagem IKONOS 2008

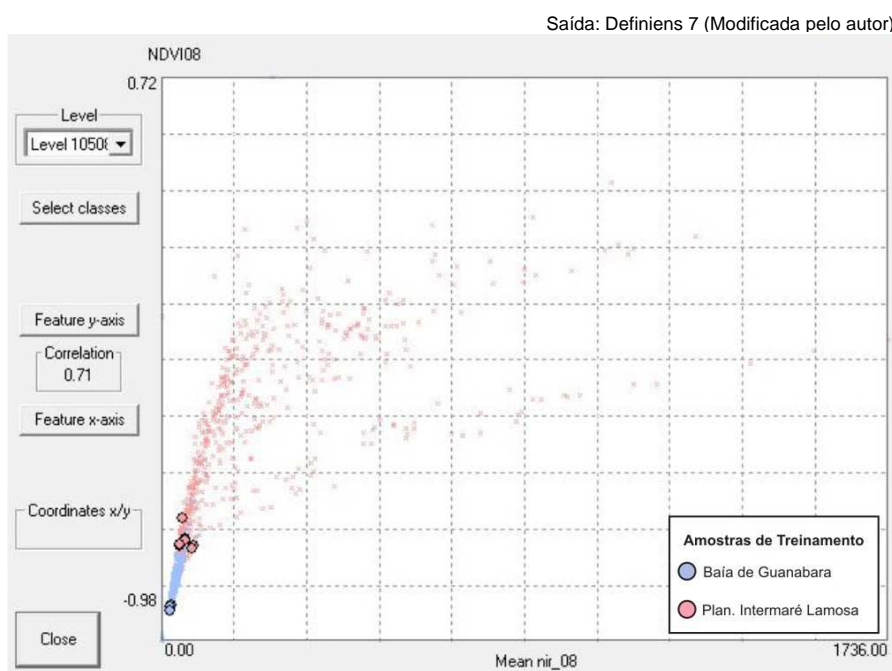
A classificação da imagem IKONOS adquirida em 2008 seguiu os mesmos procedimentos utilizados para os dados de 2006. Entretanto, sabe-se que as condições de luminosidade no momento de tomada das imagens são distintas, como explicado no item 4.3.1. Sendo assim, o intervalo dinâmico dos valores de cada descritor da imagem IKONOS de 2008 pode diferir daquele empregado nos dados de 2006. Além disso, deve-se levar em conta que o estado físico dos objetos em análise encontra-se em constante modificação, seja pelo crescimento vertical da vegetação ou pela expansão em superfície da cobertura vegetal. Modificações na área urbana ou alterações antrópicas do solo são igualmente importantes nesse processo. De toda forma, qualquer mudança desta ordem foi registrada na imagem de 2008 com resposta espectral diferente se comparada aos dados IKONOS de 2006.

Assim, a variação da resposta espectral de um objeto pode ser proveniente da alteração de luminosidade ou da modificação do uso e cobertura do solo. Apenas esta última poderia provocar uma mudança de classe.

A Tabela 5.5 mostra a descrição das funções utilizadas para classificar os objetos do nível I. Não houve maiores dificuldades em classificar os objetos deste nível em relação à imagem de 2006. Apenas a Zona de Proteção da Vida Marinha e sua sub-classe Planície Intermaré Lamosa sofreram alterações no intervalo de valores, pois estas classes utilizaram descritores espectrais. A classe Rede de Drenagem utilizou parâmetros de forma, a exemplo da classificação da imagem anterior. Cerca de 95% dos objetos desta classe foram extraídos em função da forma, os demais foram agregados em função do contexto.

**Tabela 5.5 - Descrição das funções utilizadas em cada classe do nível I (Imagem IKONOS 2008)**

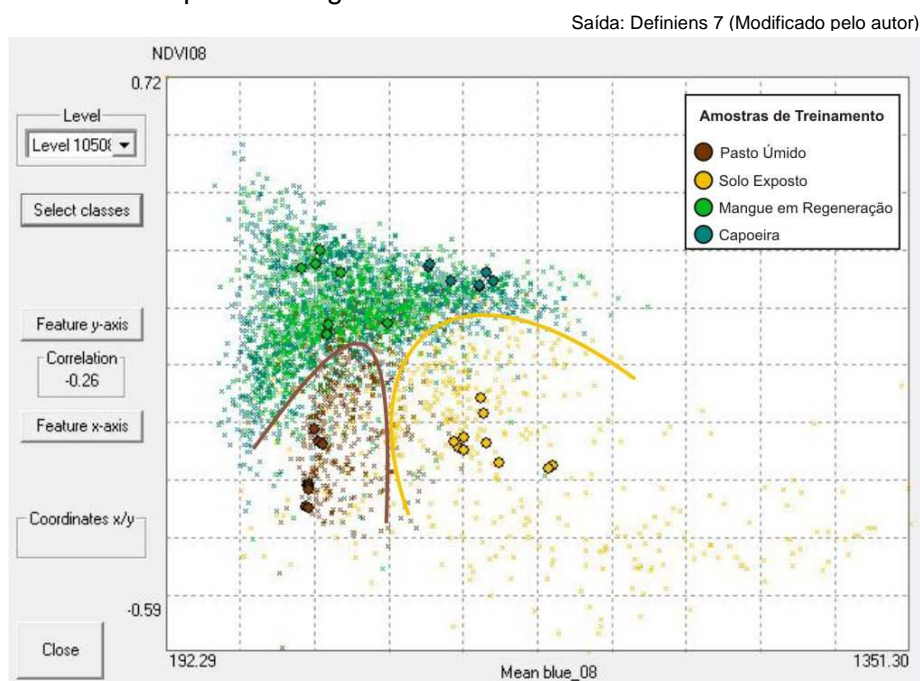
Nível	Classe	Operador	Parâmetro	Função	Intervalo
I	APA de Guapi-Mirim	and(min)	Number of overlapping thematic objects		[0 - 2]
	Zona de Prot. da Vida Marinha	and(min)	RVI_2008		[1,1 - 15]
	Drenagem	and(min)	Lenght/Width		[2 - 24,5]
		and(min)	Relations Border to (unclassified)		[1]
	Planície Intermaré Lamosa	and(min)	RVI_2008		[3,5 - 6,0]
	Baía de Guanabara	and(min)	RVI_2008		[14,0 - 17,0]
	Zona de Uso Sustentável	and(min)	Number of overlapping thematic objects		[1]
Área Urbana	and(min)	Number of overlapping thematic objects		[1]	



**Figura 5.3 - Correlação entre os parâmetros NDVI e Mean NIR para as classes Baía de Guanabara e Planície Intermaré Lamosa.**

As classes Planície Intermaré Lamosa e Baía de Guanabara foram separadas pelo descritor RVI. Da mesma forma, essas classes poderiam ser separadas pelo descritor NDVI, como mostra a Figura 5.3. Isso demonstra a boa separabilidade entre elas.

A Figura 5.4 mostra a distribuição espacial de quatro classes dentro do espaço característico dos descritores NDVI e *Mean* da banda *blue*. Observa-se que as classes Pasto Úmido e Solo Exposto possuem boa separabilidade entre si e com as demais classes. Embora as amostras das classes Mangue em Regeneração e Capoeira estejam bem separadas, a totalidade dos objetos pertencentes a estas classes não definem um limite claro de separação. Como isso, para evitar um alto ruído nestas classes, utilizou-se o apoio do critério de proximidade de rios para classificar a classe Mangue em Regeneração, visto que as mesmas condições aplicadas na imagem de 2006 também se adequam à imagem de 2008.



**Figura 5.4 - Distribuição das amostras de quatro classes no espaço característico dos parâmetros NDVI e *Mean* da banda *blue*.**

A Tabela 5.6 mostra a descrição das funções utilizadas para identificar as classes do Nível II. A formulação das funções para quatro das classes foi baseada no modelo observado na Figura 5.4.

Observa-se que a classe Área para Uso Agrícola possui duas funções para o mesmo descritor (NDVI). Isto é devido ao registro, na imagem de 2008, do manuseio do uso do solo em algumas partes da área destinada ao cultivo. Este manejo resultou na exposição livre do solo, cuja resposta espectral é característico da classe Solo Exposto. Contudo, este tipo de prática é inerente às atividades agrícolas. Portanto,



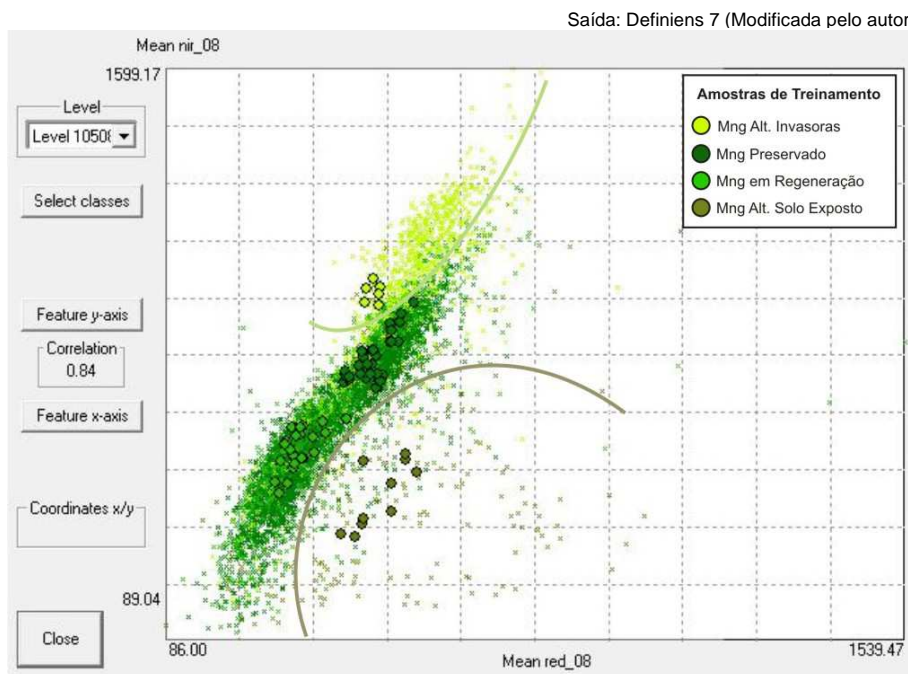
embora partes da área para cultivo tenha características espectrais de solo exposto, semanticamente estas ainda pertencem a classe Área para Uso Agrícola, de forma que a *feature* NDVI descreve duas funções para esta classe: a primeira representa os objetos de solo exposto e a segunda classifica os objetos característicos de cultivo.

**Tabela 5.6 - Descrição das funções utilizadas em cada classe do nível II (Imagem IKONOS 2008)**

Nível	Classe	Operador	Parâmetro	Função	Intervalo
II	Solo Exposto	and(min)	NDVI_2008		[-0,168 – 0,019]
		and(min)	Mean blue (2008)		[663 - 795]
	Pasto Úmido	and(min)	NDVI_2008		[-0,262 - -0,074]
		and(min)	Mean blue (2008)		[408 - 445]
	Mangue em Regeneração	and(min)	NDVI_2008		[0,129 – 0,303]
		and(min)	Mean blue (2008)		[401 - 691]
		and(min)	Distance to (Drenagem (m))		[550 - 600]
	Capoeira	and(min)	NDVI_2008		[0,247 – 0,303]
		and(min)	Mean blue (2008)		[590 - 707]
	Diques	and(min)	Lenght/Width		[4 – 24,5]
	Área para Uso Agrícola	and(min)	NDVI_2008		[-0,16 - -0,04]
		and(min)	NDVI_2008		[0,06 – 0,113]
		and(min)	Mean blue (2008)		[580 – 740]
		and(min)	Relations Border to (Diques)		]0 - 1]
Pasto Seco	and(min)	not (todas as classes)	-----	-----	

A Figura 5.5 mostra a distribuição espacial de quatro classes dentro do espaço característico dos descritores *Mean* das bandas NIR e *blue*. As classes Mangue Alterado com Solo Exposto e Mangue Alterado com Gramíneas exibem boa separabilidade entre si e entre as demais classes pelo *range* do descritor *Mean* NIR.

As amostras das classes Mangue Preservado e Mangue em Regeneração apresentam boa separabilidade, mas o universo dos objetos que compõem estas classes são bem difusos entre si. Assim, utilizou-se descritores de textura para integrar as funções que separam estas classes.



**Figura 5.5 - Distribuição das amostras de quatro classes no espaço característico dos parâmetros das bandas NIR e blue.**

A Tabela 5.7 mostra a descrição das funções utilizadas para classificar os objetos do Nível III. Da mesma forma que a classificação da imagem 2006, a Zona de Proteção da Vida Sívestre foi composta pelos objetos que não pertencem às duas outras Zonas.












A classe Mangue Alterado com Solo Exposto foi definida utilizando apenas funções de descritores espectrais, como mostrou a Figura 5.5. A classe Mangue Alterado com Gramíneas seguiu os mesmos parâmetros. Salienta-se que ambas as classes também tiveram boa resposta nos descritores de textura, porém não houve necessidade de utilizá-los.

As classes Mangue Preservado e Mangue em Regeneração empregaram descritores de textura como parte do conjunto de funções composto para a identificação destas classes.

Seguindo o método empregado na classificação da imagem 2006, todos os ruídos intra-classe foram categorizados em função do contexto de seus vizinhos.

A Figura 5.6 e a Figura 5.7 exibem o resultado da classificação orientada a objetos das imagens IKONOS 2006 e 2008, respectivamente.

Tabela 5.7 - Descrição das funções utilizadas em cada classe do nível III (Imagem IKONOS 2008)

Nível	Classe	Operador	Parâmetro	Função	Intervalo
III	Zona de Proteção da Vida Silvestre	and(min)	<i>Classified as unclassified</i>		[1]
	<i>Mangue Alt. com Solo Exposto</i>	and(min)	NDVI_2008		[-0,12 – 0,09]
		and(min)	<i>Mean NIR</i>		[356,8 – 590]
	<i>Mangue Alt. com Gramíneas</i>	and(min)	NDVI_2008		[0,309 – 0,364]
		and(min)	<i>Mean NIR</i>		[960 – 1050]
	<i>Mangue Preservado</i>	and(min)	<i>Texture GLDV Entropy (8/11) NIR_2008 (all dir)</i>		]3,78 – 4,8]
		and(min)	<i>Mean Red</i>		[433,4 – 577,9]
		and(min)	<i>Mean NIR</i>		[700 – 990]
	<i>Mangue em Regeneração</i>	and(min)	<i>Texture GLDV Entropy (8/11) NIR_2008 (all dir)</i>		[3,55 – 3,78]
		and(min)	<i>Mean Red</i>		[290 – 450]
and(min)		<i>Mean NIR</i>		[473,3 – 677,2]	
<i>Mangue Alt. com Invasoras</i>	and(min)	<i>not (todas as classes)</i>	-----	-----	



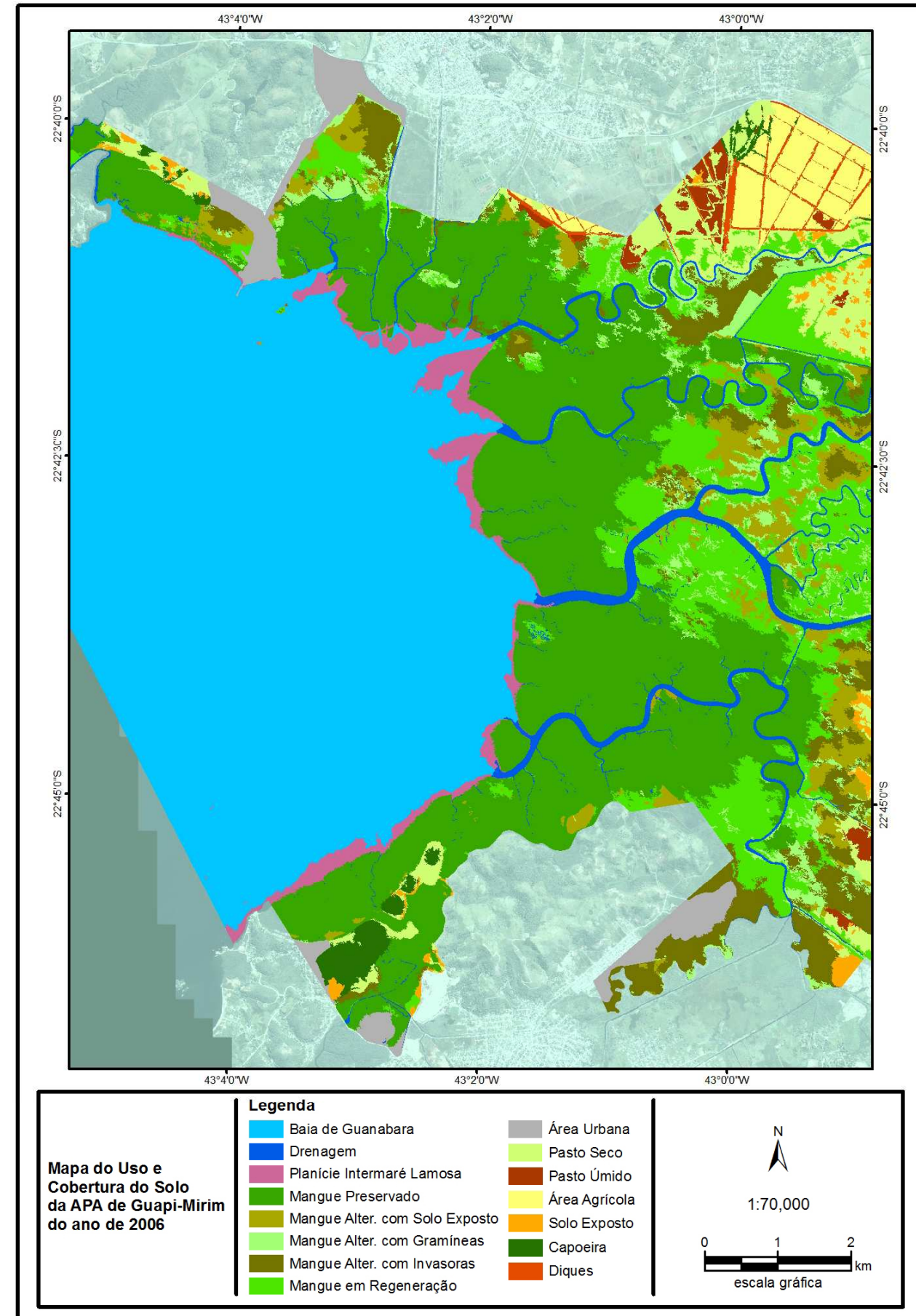
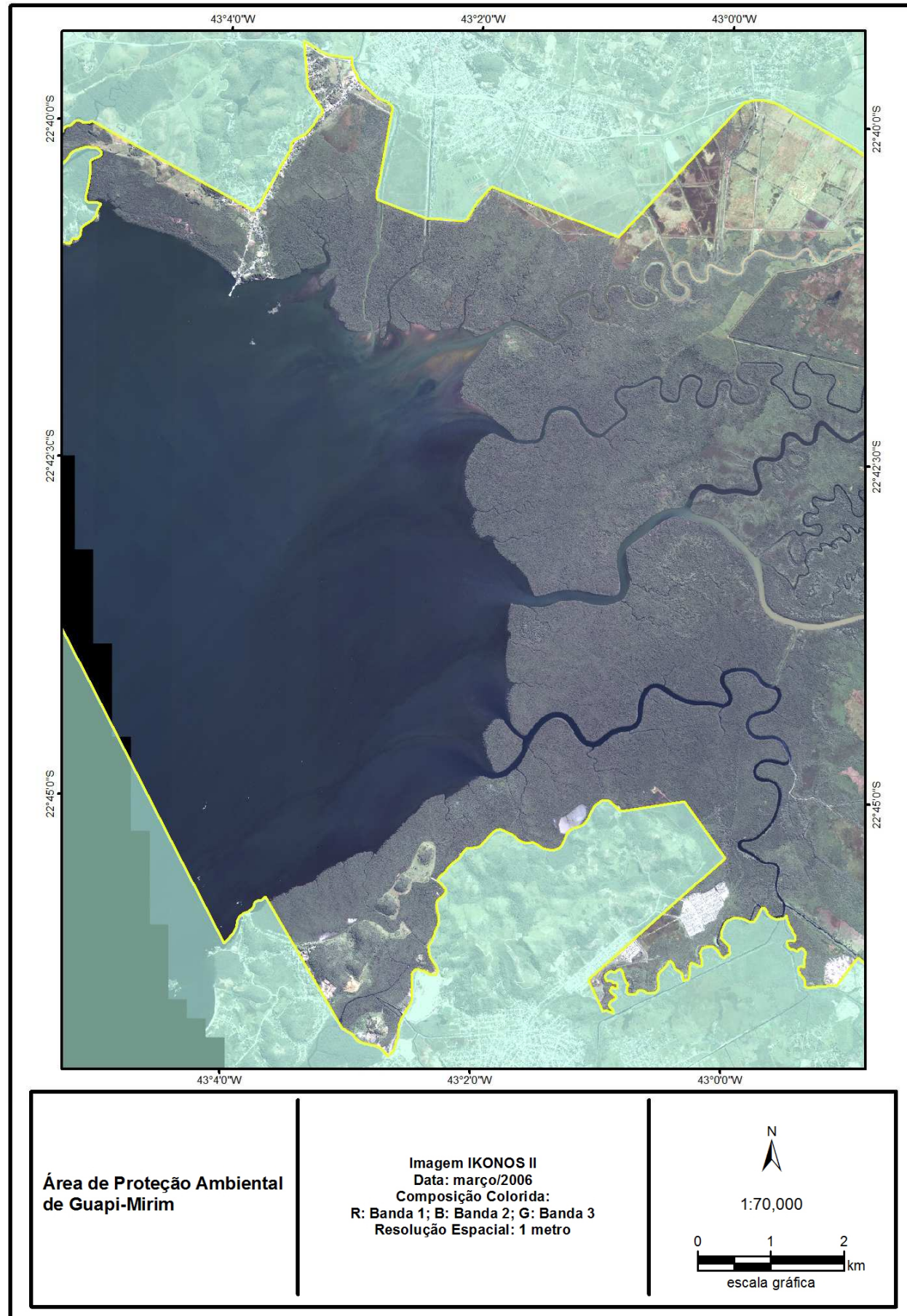


Figura 5.6 - Resultado da classificação orientada a objeto da imagem IKONOS de 2006.



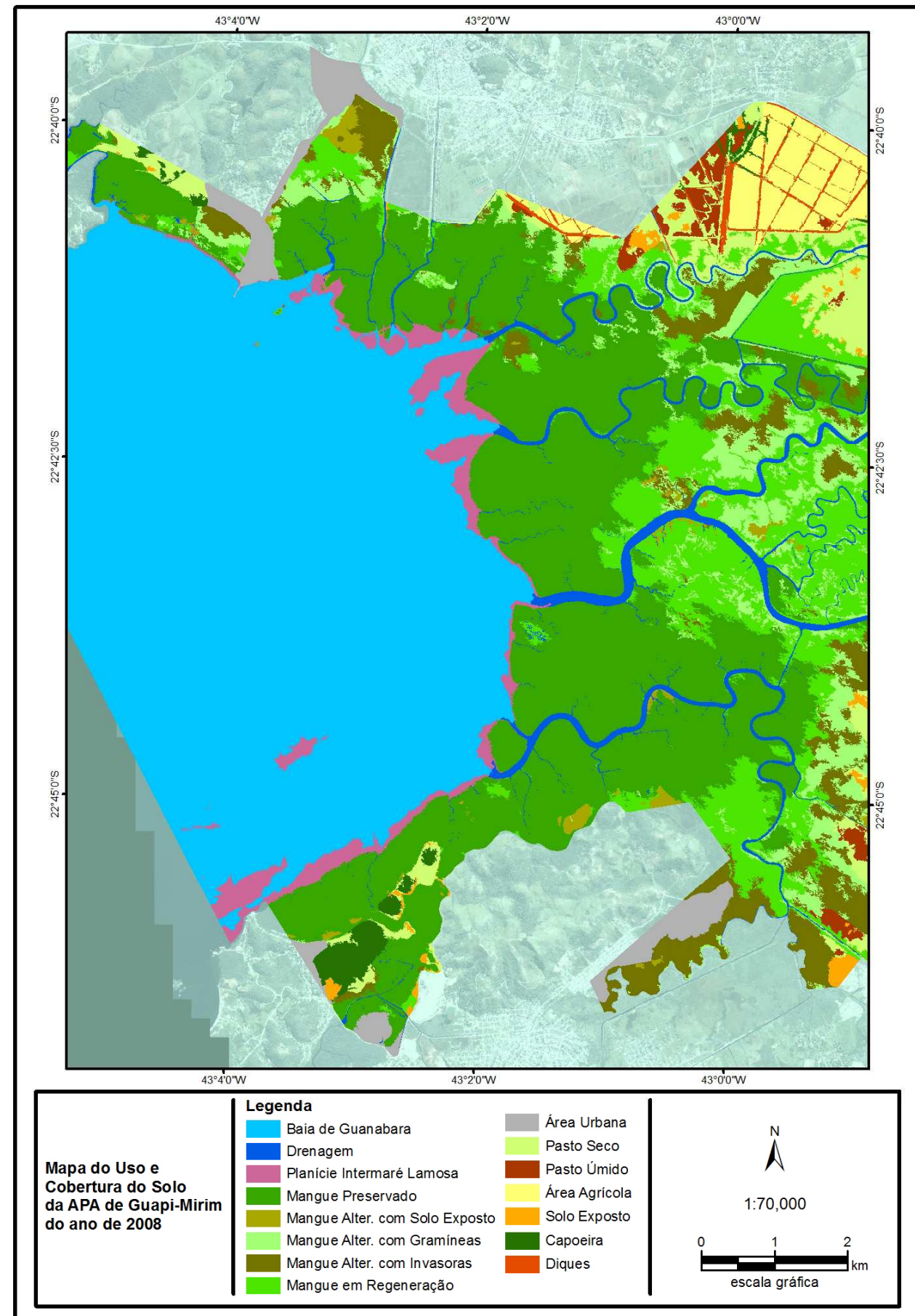
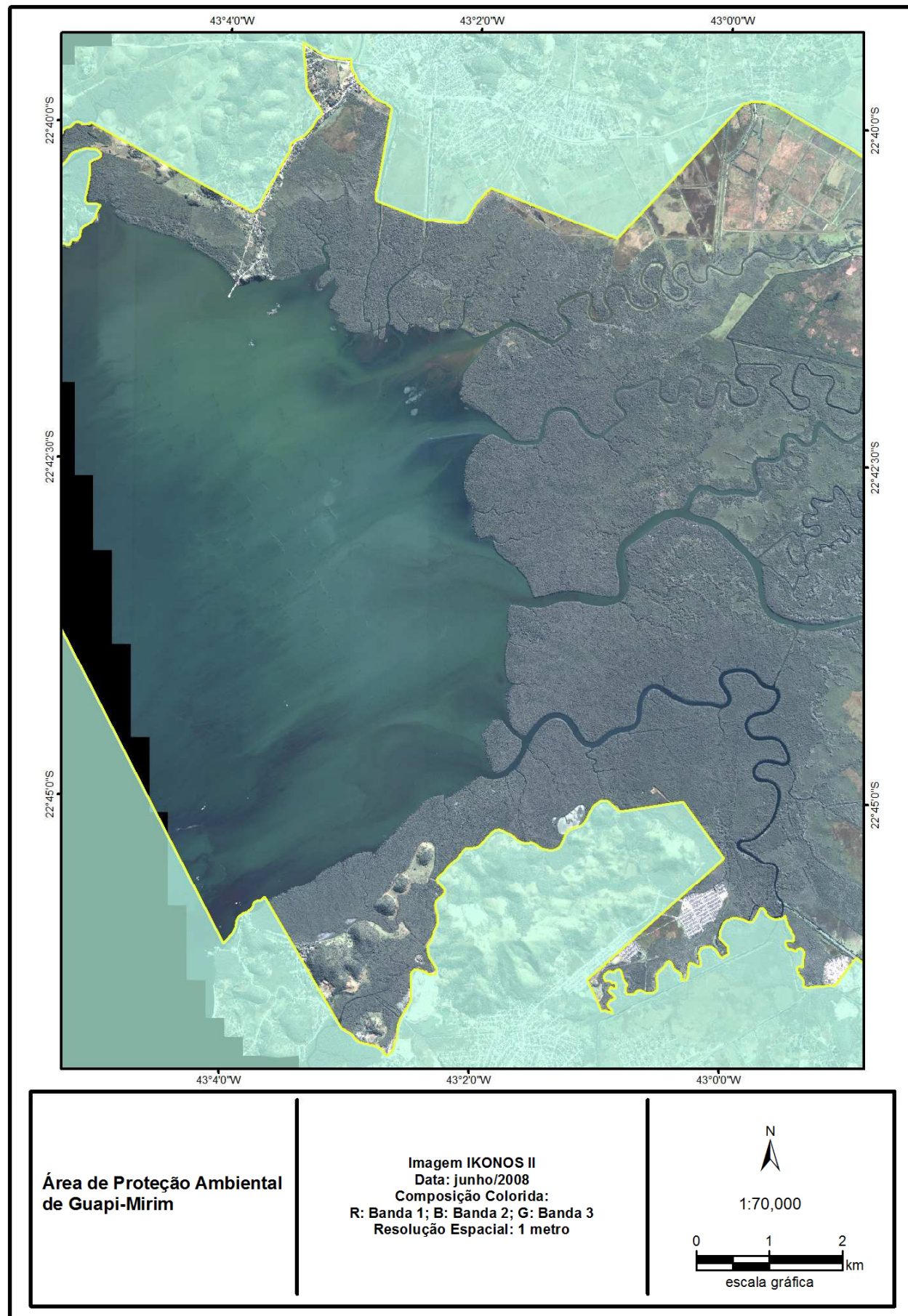


Figura 5.7 - Resultado da classificação orientada a objeto da imagem IKONOS de 2008.



### 5.3 - Avaliação da Classificação

Depois de realizadas as classificações das imagens IKONOS dos anos 2006 e 2008, a próxima etapa consiste em elaborar uma matriz de confusão para mensurar os erros inerentes à classificação de cada classe, bem como a classificação com um todo, através de índices de concordância, tais como acurácia do produtor, acurácia do usuário, acurácia global, *kappa* por classe e *kappa* global.

Para cada classe, foram coletadas 100 amostras aleatoriamente, conforme especificado no capítulo anterior. Algumas amostras continham feições características de duas classes, tornando-se, então, inadequadas para contabilidade em qualquer classe de referência. Por esta razão, algumas classes não atingiram o total de 100 amostras úteis.

A classe Área Urbana não foi incluída na matriz de erro, pois a natureza de sua classificação não dá margem a erro, tanto intra-classe como extra-classe, ou seja, caso esta classe fosse considerada, suas amostras seriam totalmente categorizadas como área urbana nos dados de referência. Tal procedimento beneficiaria os valores dos índices globais, propiciando uma falsa interpretação na acurácia das classificações de ambas as imagens.

O total de erros incluídos representa a quantidade total de amostras incluídas em uma determinada classe, para a qual estas amostras não deveriam pertencer. O total de erro de omitido significa a quantidade total de amostras que deveriam pertencer a uma determinada classe, mas efetivamente foram classificadas em outra.

De acordo com LANDIS & KOCH (1977), o índice *kappa* com valor entre 0,60 e 0,79 indica concordância substancial entre os dados classificados e os dados de referência. A partir de 0,80, a concordância é classificada como muito forte.

A Tabela 5.8 mostra a matriz de confusão para a classificação da imagem IKONOS de 2006. Observa-se que sete classes apresentaram seus respectivos índices *kappa* entre 0,60 e 0,79, o que corresponde a uma concordância substancial. A classe que obteve menor índice *kappa* foi Mangue Alterado com Gramíneas. Esta classe teve considerável confusão com as classes Mangue Alterado com Solo Exposto e Mangue Alterado com Invasoras. Esse erro de inclusão é aceitável, pois a separação de classes de mangue alterado não é trivial, dada a semelhança entre elas.

As outras oito classes superaram o valor 0,80 para o índice *kappa*, significando uma concordância muito forte com os dados de referência. Destaque para a classe



Planície Intermaré Lamosa, que obteve o maior valor *kappa* de todas as classes analisadas ( $K_i = 0,98$ ).

A maioria das classes da Zona de Uso Sustentável possui alto valor *kappa*. Isso reflete que as características particulares de cada classe foram bem reconhecidas. Um bom exemplo de como o contexto influencia a identificação de uma categoria é a classe Mangue em Regeneração, a qual obteve valor *kappa* 0,92 na Zona de Uso Sustentável, enquanto que na Zona de Proteção da Vida Silvestre, Mangue em Regeneração teve seu valor *kappa* avaliado em 0,71.

Os índices globais convergiram para a mesma tendência. O *Kappa* global apontou 0,822 e a acurácia global indicou 0,834. Ambos os resultados avaliam a classificação como alta concordância.

A Tabela 5.9 mostra a matriz de confusão para a classificação da imagem IKONOS de 2008. As classes com pior valor *Kappa* foram Mangue Alterado com Solo Exposto ( $K_i = 0,65$ ), Pasto Seco ( $K_i = 0,66$ ) e Mangue Alterado com Invasoras ( $K_i = 0,69$ ). De acordo com LANDIS & KOCH (1977), estas classes possuem concordância substancial. Outras oito classes foram avaliadas como concordância muito forte. Destaque para as classes Capoeira ( $K_i = 0,96$ ), Área para Uso Agrícola ( $K_i = 0,95$ ) e Diques ( $K_i = 0,94$ ), as quais indicam as maiores características de separabilidade entre as classes que compõe a Zona de Uso Sustentável.

Os índices globais da classificação de 2008 não destoaram da classificação de 2006. O *Kappa* global calculou em 0,805 e a acurácia global verificou 0,818, enquadrando ambas classificações como de alta concordância.

Tabela 5.8 - Matriz de Confusão para Classificação da Imagem IKONOS de 2006

		Dados de Referência														Total Linha	Total Erro Incluído	Acurácia Usuário	
		Baía de Guanab.	Rede de Drenagem	Plan. Intermaré Lamosa	Mangue Preserv.	Mng Alt. Solo Exposto	Mng Alt. Gramíneas	Mng Alt. Invasoras	Mng em Regen.	Pasto Seco	Pasto Úmido	Área para Uso Agrícola	Solo Exposto	Mng em Regen.	Capoeira				Diques
Dados Classificados	Baía de Guanabara	73	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	27	0,73	
	Rede de Drenagem	0	73	0	8	0	4	0	10	1	0	0	0	2	0	98	25	0,74	
	Plan. Intermaré Lamosa	1	0	95	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	97	2	0,98	
	Mangue Preservado	0	1	0	82	2	2	0	13	0	0	0	0	0	0	100	18	0,82	
	Mng Alt. Solo Exposto	0	0	0	1	73	7	14	5	0	0	0	0	0	0	100	27	0,73	
	Mng Alt. Gramíneas	0	0	0	0	12	67	18	3	0	0	0	0	0	0	100	33	0,67	
	Mng Alt. Invasoras	0	0	0	0	3	10	82	4	0	0	0	0	0	0	99	17	0,83	
	Mng em Regeneração	0	0	0	0	6	9	11	71	0	0	0	0	0	0	97	26	0,73	
	Pasto Seco	0	0	0	0	0	0	0	0	78	4	0	11	1	2	2	98	20	0,80
	Pasto Úmido	0	0	0	0	0	0	0	0	2	91	0	3	0	2	1	99	8	0,92
	Área para Uso Agrícola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	96	0	0	0	3	100	4	0,96
	Solo Exposto	0	0	0	0	0	0	0	0	11	1	0	78	7	2	0	99	21	0,79
	Mng em Regeneração	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	92	0	0	99	7	0,93
	Capoeira	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	93	1	100	7	0,93
Diques	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	92	96	4	0,96	
Total Coluna	74	74	122	92	96	99	125	106	108	97	96	93	102	99	99	1482			
Total Erro Omitido	1	1	27	10	23	32	43	35	30	6	0	15	10	6	7				
Acurácia Produtor	0,99	0,99	0,78	0,89	0,76	0,68	0,66	0,67	0,72	0,94	1,00	0,84	0,90	0,94	0,93		<b>Acurácia Global</b>	0,834	
Kappa por Classe	0,72	0,73	0,98	0,81	0,71	0,65	0,81	0,71	0,78	0,91	0,96	0,77	0,92	0,92	0,96		<b>kappa Global</b>	0,822	

Zona de Proteção da Vida Marinha

Zona de Proteção da Vida Silvestre

Zona de Uso Sustentável

**Tabela 5.9 - Matriz de Confusão para Classificação da Imagem IKONOS de 2008**

		Dados de Referência														Total Linha	Total Incluído	Acurácia Usuário	
		Baía de Guanabara	Drenagem	Plan. Intermaré Lamosa	Mangue Preservado	Mng Alt. Solo Exposto	Mng Alt. Gramíneas	Mng Alt. Invasoras	Mng em Regen.	Pasto Seco	Pasto Úmido	Área para Uso Agrícola	Solo Exposto	Mng em Regen.	Capoeira				Diques
<b>Dados Classificados</b>	Baía de Guanabara	76	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	93	17	0,82	
	Drenagem	0	78	0	9	2	1	1	7	0	0	0	0	0	0	98	20	0,80	
	Plan. Intermaré Lamosa	21	0	78	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	22	0,78	
	Mangue Preservado	0	0	0	84	0	5	0	11	0	0	0	0	0	0	100	16	0,84	
	Mng Alt. Solo Exposto	1	3	0	4	66	13	4	8	0	0	0	0	0	0	99	33	0,67	
	Mng Alt. Gramíneas	0	0	0	0	0	81	6	13	0	0	0	0	0	0	100	19	0,81	
	Mng Alt. Invasoras	0	0	0	0	2	9	71	18	0	0	0	0	0	0	100	29	0,71	
	Mng em Regeneração	0	0	0	2	0	14	7	77	0	0	0	0	0	0	100	23	0,77	
	Pasto Seco	0	0	0	0	0	0	0	0	68	2	0	13	9	4	4	100	32	0,68
	Pasto Úmido	0	0	0	0	0	0	0	0	4	85	0	3	1	1	6	100	15	0,85
	Área para Uso Agrícola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95	0	0	1	4	100	5	0,95
	Solo Exposto	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	84	4	1	4	100	16	0,84
	Mng em Regeneração	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	2	84	0	0	98	14	0,86
	Capoeira	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	95	2	99	4	0,96
Diques	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	92	97	5	0,95	
Total Coluna	98	81	95	100	70	123	89	134	92	88	99	103	98	102	112	<b>1484</b>			
Total Omitido	22	3	17	16	4	42	18	57	24	3	4	19	14	7	20				
Acurácia Produtor	0,78	0,96	0,82	0,84	0,94	0,66	0,80	0,57	0,74	0,97	0,96	0,82	0,86	0,93	0,82		<b>Acurácia Global</b>	0,818	
Kappa por Classe	0,80	0,78	0,76	0,83	0,65	0,79	0,69	0,75	0,66	0,84	0,95	0,83	0,85	0,96	0,94		<b>kappa Global</b>	0,805	

Zona de Proteção da Vida Marinha

Zona de Proteção da Vida Silvestre

Zona de Uso Sustentável

## 5.4 - Análise Multitemporal

Este item discorre sobre a análise multitemporal. Para seu melhor entendimento, dados estatísticos referentes às classes de cada imagem foram expostos, de forma a proporcionar uma referência espacial quantificada para cada ano e, assim, permitir melhor compreensão de sua evolução no terreno.

A Tabela 5.10 mostra a área de cada classe resultante da classificação das imagens IKONOS dos anos de 2006 e 2008.

**Tabela 5.10 - Área de cada classe para cada ano**

	<b>Classificação 2006</b> Área (ha)	<b>Classificação 2008</b> Área (ha)	<b>Acréscimo / Redução (%)</b>
Baía de Guanabara	4176,56	4126,36	-1,20
Rede de Drenagem	300,85	301,77	0,31
Plan. Intermaré Lamosa	214,89	264,94	23,29
Mangue Preservado	2878,19	2882,12	0,14
Mng Alt. Solo Exposto	379,66	70,52	-81,42
Mng Alt. Gramíneas	325,57	538,83	65,51
Mng Alt. Invasoras	957,51	517,61	-45,94
Mng em Regeneração	913,43	1444,37	58,13
Área Urbana	231,20	231,20	0,00
Pasto Seco	337,88	320,15	-5,25
Pasto Úmido	77,17	90,09	16,74
Área para Uso Agrícola	234,90	240,30	2,30
Solo Exposto	68,59	50,41	-26,51
Mng em Regeneração	117,03	132,99	13,63
Capoeira	91,15	91,95	0,88
Diques	51,81	52,79	1,90
<b>TOTAL</b>	<b>11356,40</b>	<b>11356,40</b>	-----

Em números relativos, as classes Mangue Alterado com Solo Exposto e Mangue Alterado com Gramíneas sofreram maior redução e acréscimo, respectivamente, ou seja, isso indica que grande parte do solo exposto foi colonizado por gramíneas, seguindo o estágio natural da regeneração do mangue. Como esperado, não houve alterações na classe Área Urbana. A Figura 5.8 mostra a proporção de cada classe para cada ano em relação à superfície total da área de estudo. A classe Mangue Alterado com Gramíneas passou de 3% para 5% de

representatividade na área de estudo, enquanto que a classe Mangue Alterado com Solo Exposto evoluiu de 8% para 5%. Outra classe que merece destaque é Mangue em Regeneração dentro da Zona de Proteção da Vida Silvestre, a qual passou de 8% para 13% de representatividade em 2008.

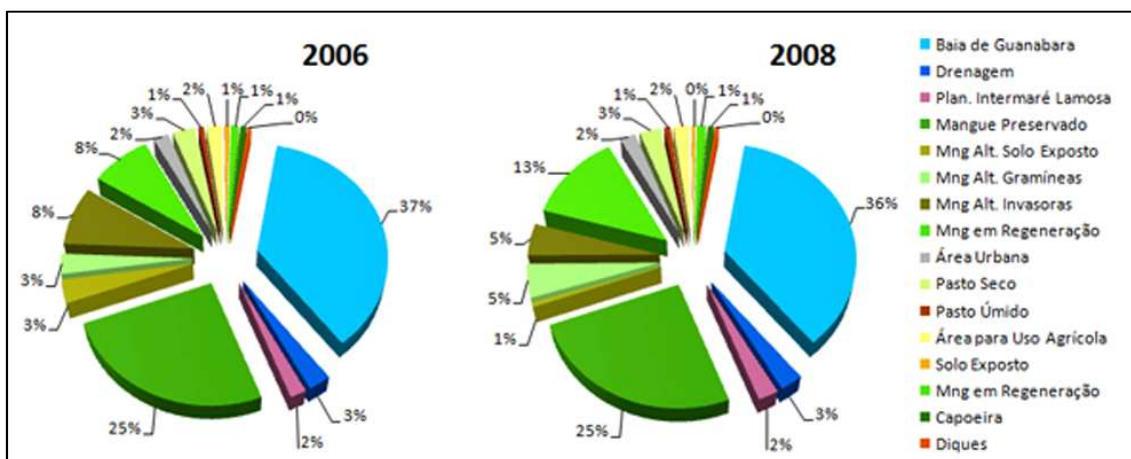


Figura 5.8 - Proporção de cada classe para cada ano em relação ao total da área de estudo.

A Tabela 5.11 exibe o total da área sem mudança e total da área com alguma alteração no uso e cobertura do solo.

Sem Mudança	10339,82
Acréscimo / Redução	1016,59
<b>TOTAL</b>	<b>11356,40</b>

Não é comum encontrar, na literatura dedicada aos métodos de detecção de mudanças de uso do solo, a utilização de duas imagens orbitais com intervalo temporal de dois anos para identificação de modificações significativas espacialmente. No entanto, as imagens IKONOS, devido à sua alta resolução espacial, favorecem o reconhecimento de alterações de uso e cobertura do solo.

A Tabela 5.12 mostra a área em hectares das transições das classes de uso e cobertura do solo de 2006 para 2008. Observa-se que algumas mudanças de classes são especialmente pequenas. Isto é uma consequência direta do uso de imagens de alta resolução para detecção de mudanças. Por esta razão, neste trabalho, toda transição de classe com área menor que 1 hectare foi considerada como de baixa representatividade espacial.

**Tabela 5.12 - Quantificação das Áreas Alteradas e Não Alteradas das Classes do Ano 2006 para o Ano 2008 (ha)**

		Classes de Destino (classificação 2008)																Total da Classe em 2006	Total Reduzido (Classe em 2006)
		Baía de Guanab.	Rede de Drenagem	Plan. Intermaré Lamosa	Mng Preserv.	Mng Alt. Solo Exposto	Mng Alt. Gramíneas	Mng Alt. Invasoras	Mng em Regen.	Área Urbana	Pasto Seco	Pasto Úmido	Área para Uso Agrícola	Solo Exposto	Mng em Regen.	Capoeira	Diques		
Classes Origem (classificação 2006)	Baía de Guanabara	4125,41	0	51,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4176,56	51,14
	Rede de Drenagem	0	300,62	0	0,08	0	0	0	0	0	0,15	0	0	0	0	0	0	300,85	0,23
	Plan. Intermaré Lamosa	0,94	0	213,80	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	214,89	1,09
	Mangue Preservado	0	0,04	0	2876,33	0	0,21	0	1,61	0	0	0	0	0	0	0	0	2878,19	1,86
	Mng Alt. Solo Exposto	0	0	0	0,51	68,86	238,98	32,79	38,51	0	0	0	0	0	0	0	0	379,66	310,80
	Mng Alt. Gramíneas	0	1,10	0	0,59	1,02	287,93	21,88	13,04	0	0	0	0	0	0	0	0	325,57	37,64
	Mng Alt. Invasoras	0	0	0	0,52	0,64	10,99	459,41	485,95	0	0	0	0	0	0	0	0	957,51	498,10
	Mng em Regeneração	0	0	0	3,94	0	0,72	3,52	905,25	0	0	0	0	0	0	0	0	913,43	8,18
	Área Urbana	0	0	0	0	0	0	0	0	231,20	0	0	0	0	0	0	0	231,20	0,00
	Pasto Seco	0	0	0	0	0	0	0	0	0	280,09	21,65	1,65	16,59	15,85	0,41	1,65	337,88	57,80
	Pasto Úmido	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,05	67,69	4,43	0,01	0	0	0	77,17	9,48
	Área para Uso Agrícola	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,49	232,65	0,17	0	0	1,59	234,90	2,25
	Solo Exposto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34,37	0	0	33,59	0,23	0,24	0,16	68,59	35,00
	Mng em Regeneração	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0	0	0,05	116,91	0	0	117,03	0,12
Capoeira	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	0,26	0,05	0	0	90,69	0,02	91,15	0,46	
Diques	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,31	0	1,52	0	0	0,61	49,37	51,81	2,44	
Total da Classe em 2008		4126,36	301,77	264,94	2882,12	70,52	538,83	517,61	1444,37	231,20	320,15	90,09	240,30	50,41	132,99	91,95	52,79	Total Classe Sem Mudanças	
Total Acrescido (Classe em 2008)		0,94	1,15	51,14	5,78	1,66	250,90	58,20	539,12	0	40,07	22,40	7,65	16,81	16,08	1,26	3,42	<b>10339,82</b>	



A Figura 5.9 apresenta a estrutura de transição de todas as classes que sofreram mudanças no período 2006 - 2008. Cerca de 48 transições de classes foram registradas. Destas, 23 transições são menores que 1 hectare. Com a estrutura exibida na Figura 5.9, conclui-se que todas as 15 classes (exceto a classe Área Urbana, por razões explicitadas anteriormente) sofreram acréscimo em sua composição espacial. No entanto, algumas classes perderam mais território do que ganharam e o saldo desse balanço é que define se uma classe experimentou acréscimo ou redução, como mostrado na Tabela 5.10.

As classes de mudanças são um registro de alteração do comportamento de um objeto, o qual pertencia a uma classe em 2006 e passou a integrar outra classe em 2008. Essas mudanças podem gerar várias combinações de classes, possíveis de ocorrer na realidade ou não, como mostra a Figura 5.9. Cabe ao especialista analisar a semântica de cada classe de mudança, ou seja, até onde a mudança de categoria de um objeto, pertencente a uma classe em 2006 para uma outra classe em 2008, pode ser possível de acontecer efetivamente.

A análise da semântica de cada classe de mudança fica restrita àquelas que possuem representação espacial maior do que 1 hectare. As classes de mudança com superfície menor do que 1 hectare não foram consideradas como representativas de mudança com significado espacial expressivo.

A Figura 5.10 exemplifica cada classe de mudança, mostrando o comportamento do objeto na imagem IKONOS de 2006 e sua evolução na imagem de 2008.

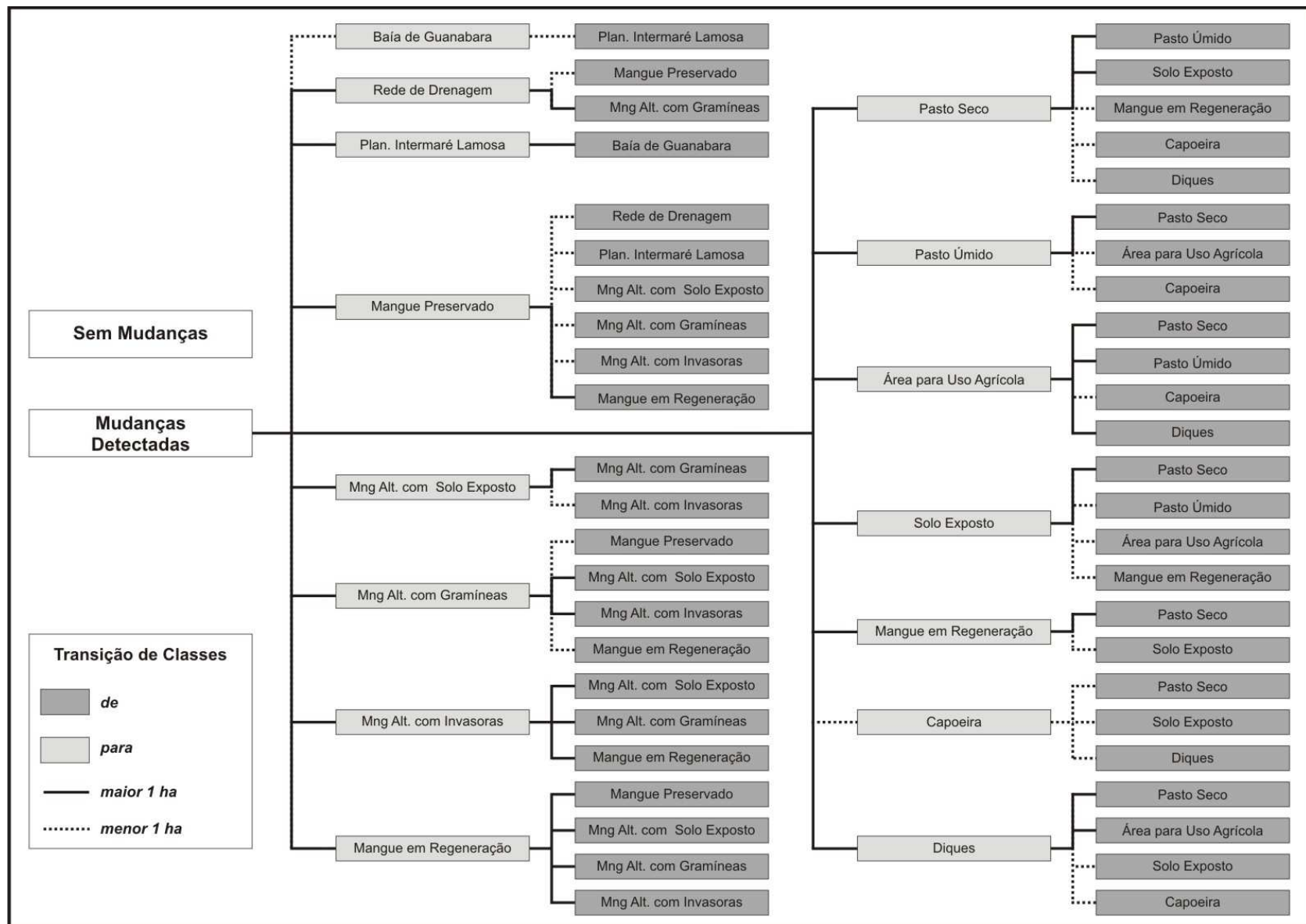


Figura 5.9 - Estrutura das mudanças de classes detectadas da classificação de 2006 para classificação de 2008. Os objetos identificados com a mesma classe em ambos os anos foram classificados como Sem Mudanças.



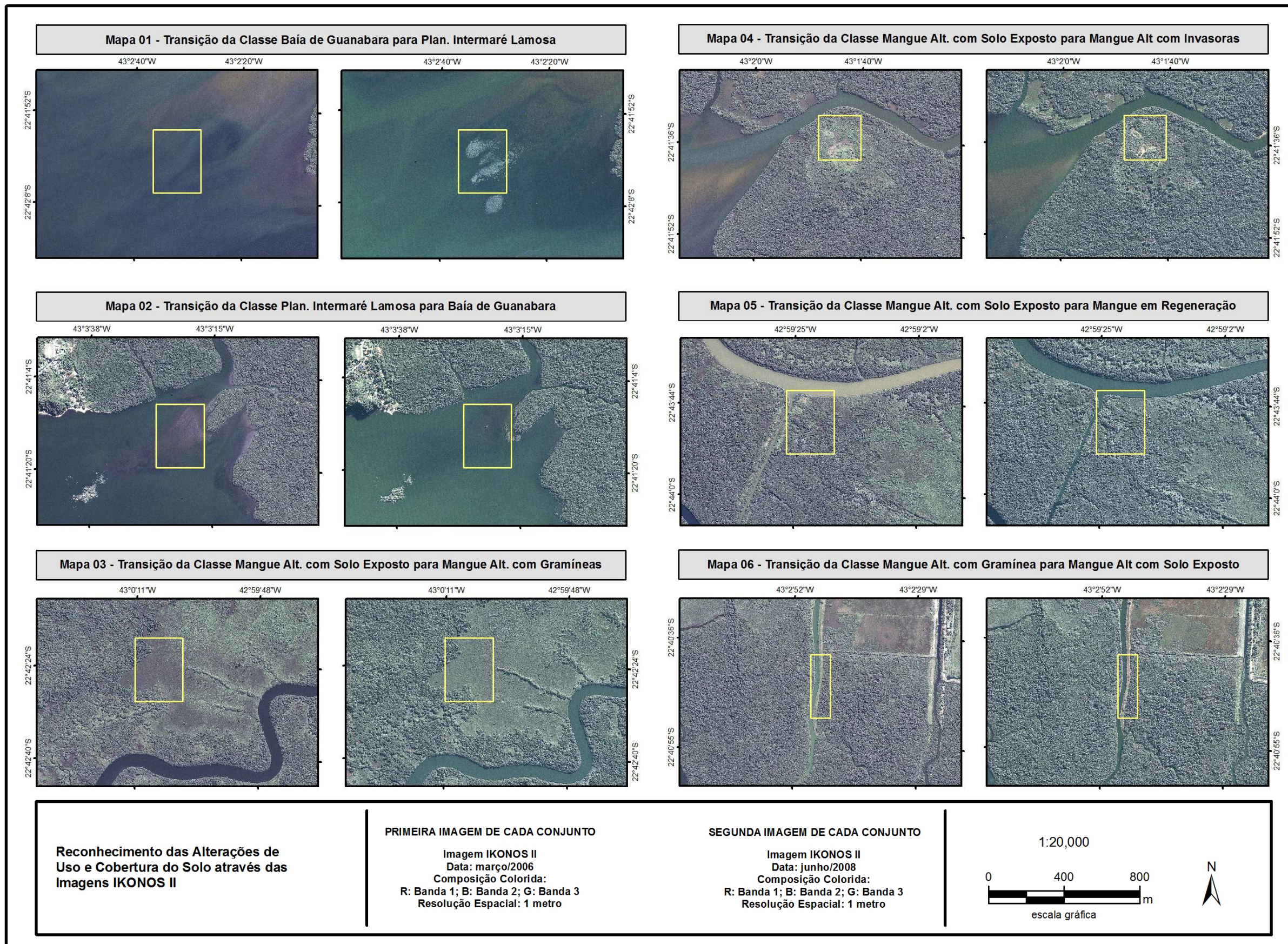


Figura 5.10 - Identificação das alterações de uso e cobertura do solo por classe de mudança.



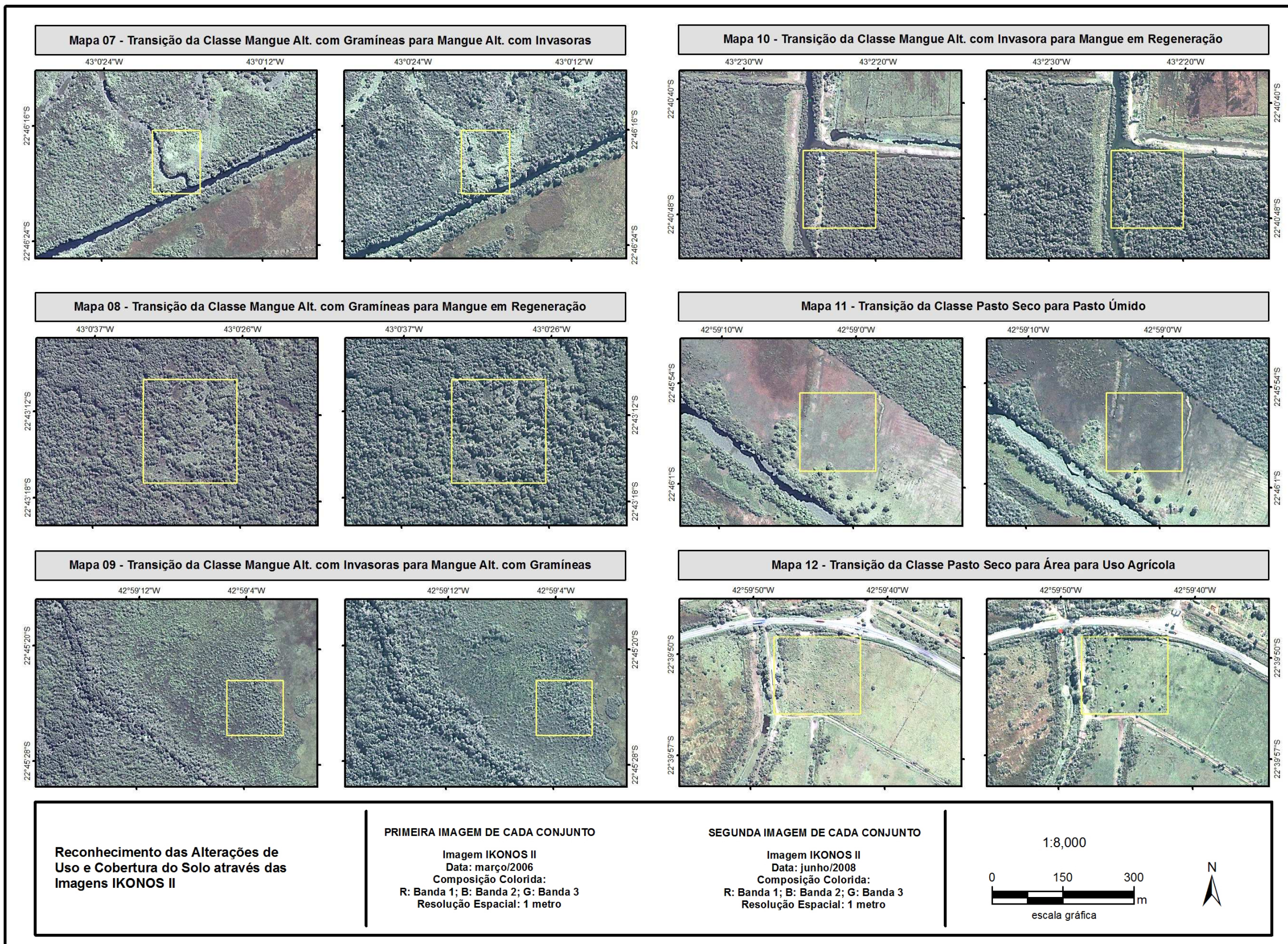


Figura 5.10 - Identificação das alterações de uso e cobertura do solo por classe de mudança (cont.).



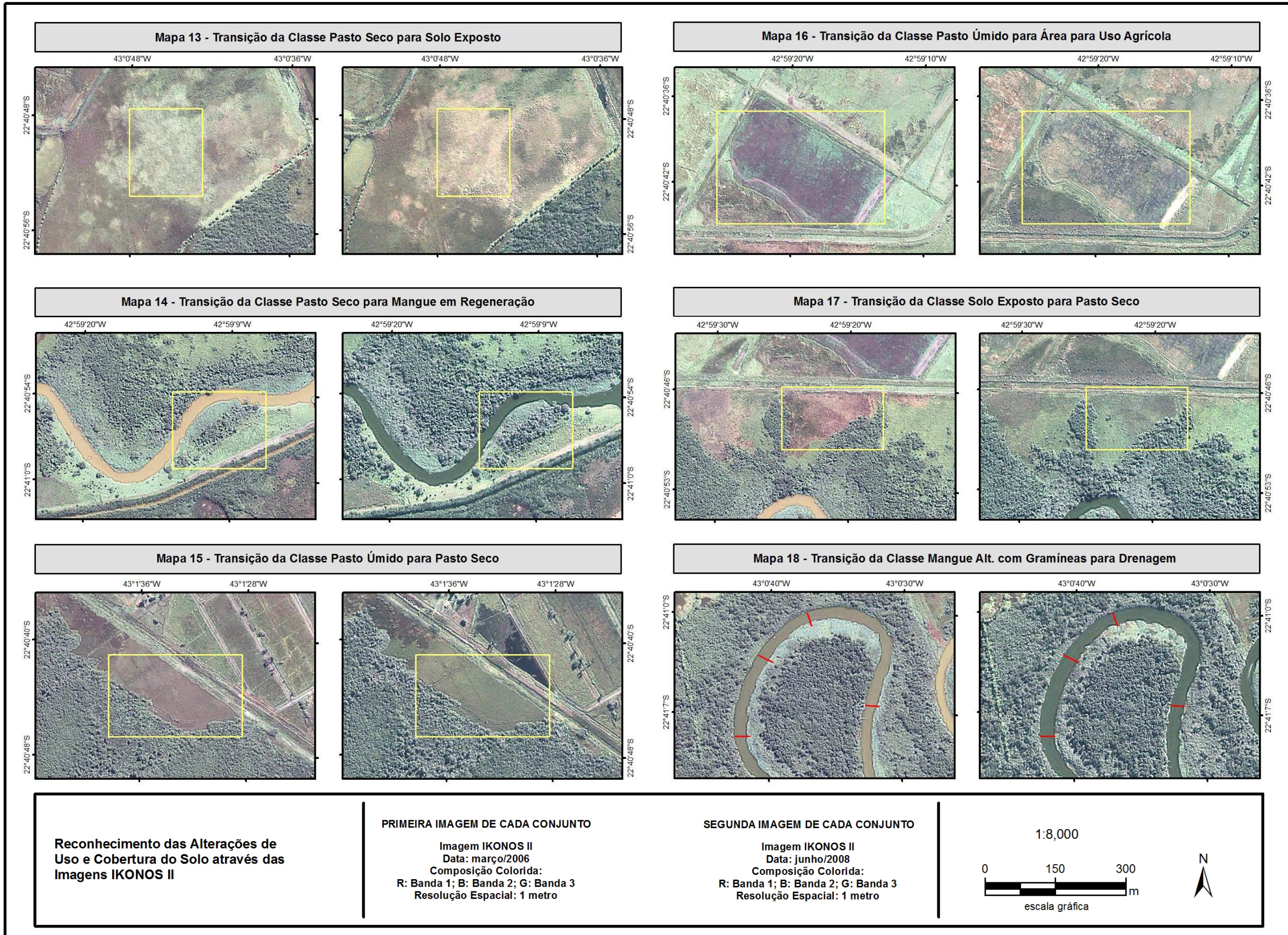


Figura 5.10 - Identificação das alterações de uso e cobertura do solo por classe de mudança (cont.).



#### **5.4.1 Classe Baía de Guanabara para Plan. Intermaré Lamosa**

A Figura 5.10 – Mapa 1 exibe a transição de objetos da classe Baía de Guanabara para a classe Planície Intermaré Lamosa. O que determina a transição destas classes é a altura da maré. Como visto no Capítulo 4, a cena de 2006 foi imageada sob condições de maré baixa ou próximo a zero, ao passo que na imagem de 2008 a maré estava acima do nível do mar. Porém, neste caso a maré não influenciou a transição das referidas classes. A imagem de 2008 mostra o acúmulo de sedimentos na foz do Rio Guapi. O espaço de 2 anos foi suficiente para consolidar a planície intermaré lamosa, de forma que sua superfície exposta permitisse a colonização por um tipo característico de vegetação aquática.

#### **5.4.2 Classe Plan. Intermaré Lamosa para Baía de Guanabara**

A Figura 5.10 – Mapa 2 exibe a transição de objetos da classe Plan. Intermaré Lamosa para a classe Baía de Guanabara. Neste caso, a altura da maré condiciona a transição entre estas classes. Pode-se concluir que a classe Planície Intermaré Lamosa tende a servir como superfície de expansão dos manguezais da APA, caso continue o acúmulo excessivo de sedimentos carregados pelos rios.

#### **5.4.3 Classe Mng Alt. com Solo Exposto para Mng Alt. com Gramíneas**

A Figura 5.10 – Mapa 3 exibe a transição de objetos da classe Mangue Alterado com Solo Exposto para Mangue Alterado com Gramíneas. A transição entre estas classes é bem natural, pois o primeiro estágio de cobertura de solo exposto ocorre por meio da expansão da vegetação rasteira do tipo gramíneas. Esse processo é facilmente observado no interior da Zona de Proteção da Vida Silvestre.

#### **5.4.4 Classe Mng Alt. com Solo Exposto para Mng Alt. com Invasoras**

A Figura 5.10 – Mapa 4 exibe a transição de objetos da classe Mangue Alterado com Solo Exposto para Mangue Alterado com Invasoras. A transição entre estas classes normalmente ocorre num segundo estágio de ocupação. O intervalo de dois anos foi suficiente para que algumas espécies invasoras dominassem o espaço sobre o solo exposto.

#### **5.4.5 Classe Mng Alt. com Solo Exposto para Mng em Regeneração**

A Figura 5.10 – Mapa 5 exibe a transição de objetos da classe Mangue Alterado com Solo Exposto para Mangue em Regeneração. A transição entre estas classes seria improvável, considerando o intervalo de dois anos, caso não houvesse um registro claro dessa alteração.



#### **5.4.6 Classe Mng Alt. com Gramíneas para Mng Alt com Solo Exposto**

A transição entre as classes Mangue Alterado com Gramíneas para Mangue Alterado com Solo Exposto ocorre de forma não natural, considerando as características geomorfológicas do manguezal. A Figura 5.10 – Mapa 6 mostra a intervenção humana como causadora desta mudança de classe. Em 2006, havia uma cobertura vegetal rasteira na margem direita do Rio Magé. Em 2008, essa cobertura não existia, restando apenas o solo exposto.

#### **5.4.7 Classe Mng Alt. com Gramíneas para Mng Alt. com Invasoras**

A transição entre as classes Mangue Alterado com Gramíneas para Mangue Alterado com Invasoras não se mostrou consistente. A Figura 5.10 – Mapa 7 exhibe essa classe de mudança. O alvo em destaque não se trata de gramíneas, mas de gigogas (espécie de planta aquática tolerante a ambientes de baixa oxigenação e alto teor de poluição). De maneira geral, não foi registrada, de maneira clara, a transição entre estas classes, embora sua representatividade espacial seja razoável.

#### **5.4.8 Classe Mng Alt. com Gramíneas para Mng em Regeneração**

A Figura 5.10 – Mapa 8 mostra a transição de objetos da classe Mangue Alterado com Gramíneas para Mangue em Regeneração. Em 2006, a vegetação arbórea tinha porte pequeno a médio e isso permitia maior destaque para a vegetação rasteira. Com o crescimento do mangue, a gramínea perdeu evidência, embora ainda permaneça no local. Este processo é a principal característica da transição entre as referidas classes.

#### **5.4.9 Classe Mng Alt. com Invasoras para Mng Alt. com Gramíneas**

A transição entre as classes Mangue Alterado com Invasoras para Mangue Alterado com Gramíneas não foi fidedigna. Esta alteração não ocorre naturalmente, pois, uma vez uma espécie invasora se aloja em um local, dificilmente perderá espaço para vegetação rasteira. A Figura 5.10 – Mapa 9 mostra esta classe de mudança. Observa-se, na imagem de 2006, a existência de espécies invasoras. A imagem de 2008 mostra as mesmas espécies em porte maior. A tonalidade mais verde foi crucial para que estes objetos fossem classificados como gramíneas na classificação de 2008.

#### **5.4.10 Classe Mng Alt. com Invasora para Mng em Regeneração**

Nessa transição, a vegetação invasora dificilmente cede espaço para a vegetação de mangue, porém ambas disputam território. Assim, é comum observar

espécies de mangue entrelaçadas com espécies invasoras, especialmente na fronteira da Zona de Proteção de Vida Silvestre com a Zona de Uso Sustentável. A expansão do mangue nesses locais se torna menos provável devido à atividade antrópica do uso do solo. A Figura 5.10 – Mapa 10 exibe um exemplo desta classe de mudança.

#### **5.4.11 Classe Pasto Seco para Pasto Úmido**

A Figura 5.10 – Mapa 11 mostra a transição de objetos da classe Pasto Seco para Pasto Úmido. O fator condicionante desta transição é apenas o tempo que o pasto fica inundado, em função do movimento das marés ou do transbordamento das águas fluviais em intensos períodos de chuva. A superfície plana dificulta a drenagem da área.

#### **5.4.12 Classe Pasto Seco para Área para Uso Agrícola**

As características espectrais da classe Pasto Seco e da classe Área para Uso Agrícola são bem semelhantes na área de estudo. O que as diferencia é a proximidade com os diques. Esta classe de mudança possui pouca representatividade espacial, embora sua área seja maior do que 1 hectare. A Figura 5.10 – Mapa 12 mostra esta transição.

#### **5.4.13 Classe Pasto Seco para Solo Exposto**

A Figura 5.10 – Mapa 13 mostra a transição de objetos da classe Pasto Seco para Solo Exposto. Esta mudança é típica de uma intervenção antrópica.

#### **5.4.14 Classe Pasto Seco para Mangue em Regeneração**

A Figura 5.10 – Mapa 14 mostra a transição de objetos da classe Pasto Seco para Mangue em Regeneração. Esta alteração, em parte, não se mostrou consistente. Observa-se, na imagem de 2006, pequenos arbustos ainda descaracterizados como mangue, o que contribuiu para sua inclusão na classe Pasto Seco. Na imagem de 2008, os arbustos em tamanho maior adquirem textura de mangue em regeneração.

#### **5.4.15 Classe Pasto Úmido para Pasto Seco**

Como mencionado anteriormente, a transição da classe Pasto Seco para classe Pasto Úmido é em função do tempo em que a superfície fica submersa. O mesmo argumento é válido para transição de Pasto Úmido para Pasto Seco. A Figura 5.10 – Mapa 15 mostra esta classe de mudança.

#### **5.4.16 Classe Pasto Úmido para Área para Uso Agrícola**

As características espectrais da classe Pasto Úmido foram determinantes para sua classificação na imagem de 2006. Pode-se concluir que a área exibida na Figura 5.10 – Mapa 16 é uma superfície alagada dentro da área para uso agrícola. Portanto, a natureza espectral dos objetos que compõe este alvo é coerente com as características da classe Pasto Úmido. Porém, o uso do local é estruturado para cultivo.

#### **5.4.17 Classe Solo Exposto para Pasto Seco**

A classe de mudança Solo Exposto para Pasto Seco é bem representada na Figura 5.10 – Mapa 17. Este é um tipo de transição que ocorre naturalmente.

#### **5.4.18 Classe Mng Alt. com Gramíneas para Rede Drenagem**

A classe de mudança Mangue Alterado com Gramíneas para Rede de Drenagem era a princípio, improvável. Entretanto, depois de algumas análises, observou-se que esta transição pode acontecer efetivamente. A Figura 5.10 – Mapa 18 registra esse fenômeno causado pela ação das marés. As marcas vermelhas têm o mesmo tamanho e posição em ambas imagens. Percebe-se que estas marcas se restringem ao leito do Rio Guapi na imagem de 2008. As mesmas marcas ultrapassam as margens do rio na imagem de 2006.

#### **5.4.19 Classes de Mudança com Significado Inconsistente**

Algumas classes de mudança foram registradas, mas a razão que justifica tal fenômeno não tem sustentação, conforme discutido a seguir:

- Mangue Preservado para Mangue em Regeneração;

Estas classes possuem características espectrais muito próximas, como comentado no item 5.2.2. Por esta razão, é compreensível o registro deste tipo de mudança. Contudo, a sua validação não é aceitável, pois observá-la na prática é quase improvável, considerando o intervalo de tempo de 2 anos.

- Mangue Alterado com Solo Exposto para Mangue Preservado;
- Mangue Alterado com Gramíneas para Mangue Preservado.

Estas duas últimas classes foram excluídas das análises em função do intervalo de tempo que separa as imagens em processamento. A evolução do crescimento da vegetação de mangue exige tempo para alcançar árvores de grande porte (15 a 20 metros de altura, típicas de mangue preservado). Por essa razão, em

uma área de solo exposto ou com vegetação rasteira, é impossível a reconstituição do mangue preservado em um prazo de dois anos.

A Figura 5.11 mostra a evolução das classes de uso e cobertura do solo do ano 2008 em relação ao ano de 2006. Considerando o intervalo de dois anos entre as imagens, 91% da área analisada permaneceu no ano de 2008, com a mesma classe observada em 2006.

Observa-se na Figura 5.11 que a classe de mudança mais representativa é a transição de mangue alterado com solo exposto para mangue alterado com gramíneas. Essa transição indica a ocorrência de uma sucessão natural na conservação do mangue na Zona de Proteção da Vida Silvestre, ou seja, o manguezal desta zona está em franca recuperação.

Na Zona de Proteção da Vida Marinha a mudança mais significativa foi a transição da classe Baía de Guanabara para Planície Intermaré Lamosa. Esta alteração sugere que há um processo de deposição de sedimentos muito intenso nos estuários dos rios que drenam a APA de Guapi-Mirim.

Na Zona de Proteção de Uso Sustentável as mudanças mais relevantes foram as transições das classes Solo Exposto para Pasto Seco e Pasto Seco para Solo Exposto. Enquanto que a primeira alteração indica uma evolução natural da cobertura do solo, a segunda mostra a intervenção antrópica na manutenção do uso do solo.



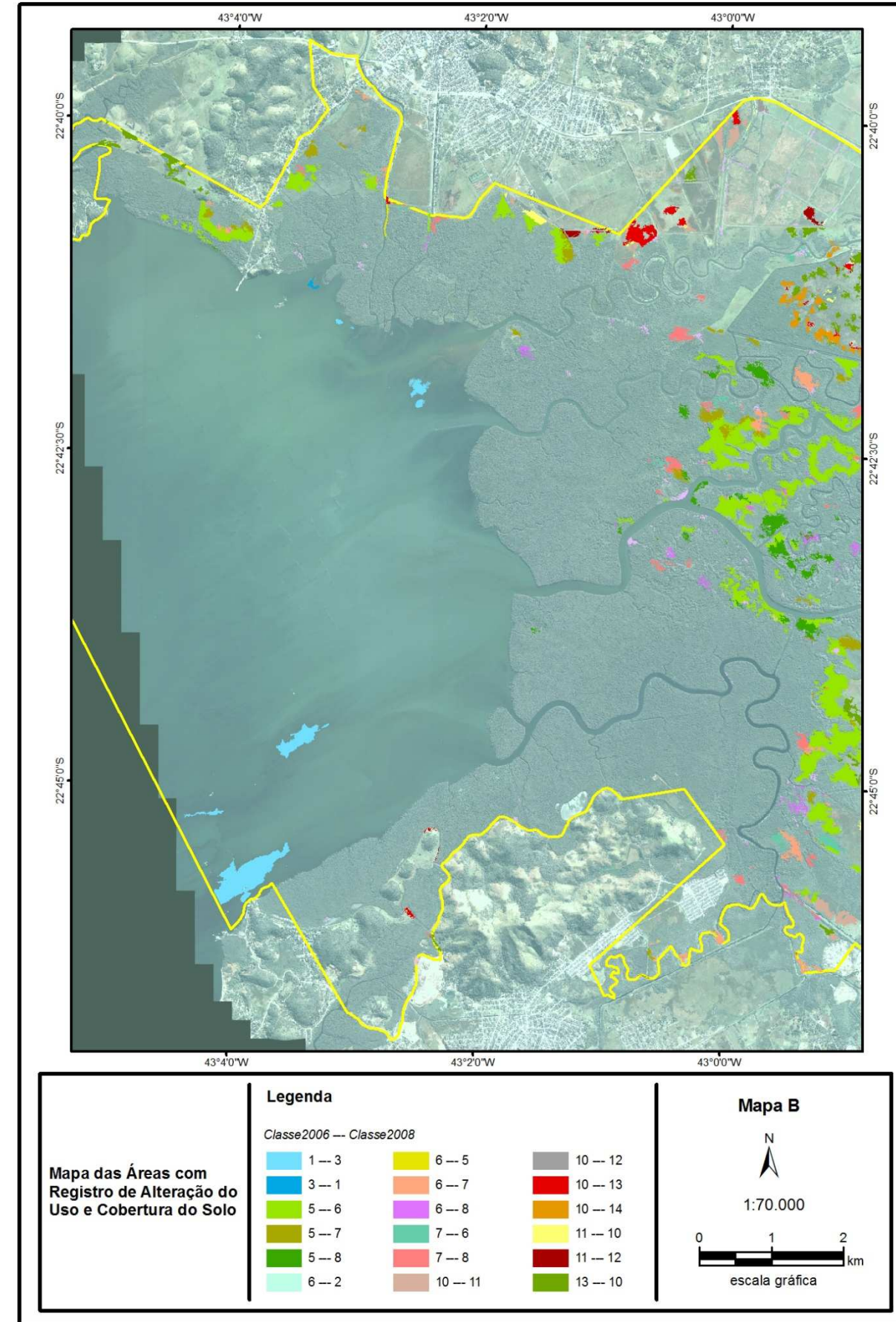
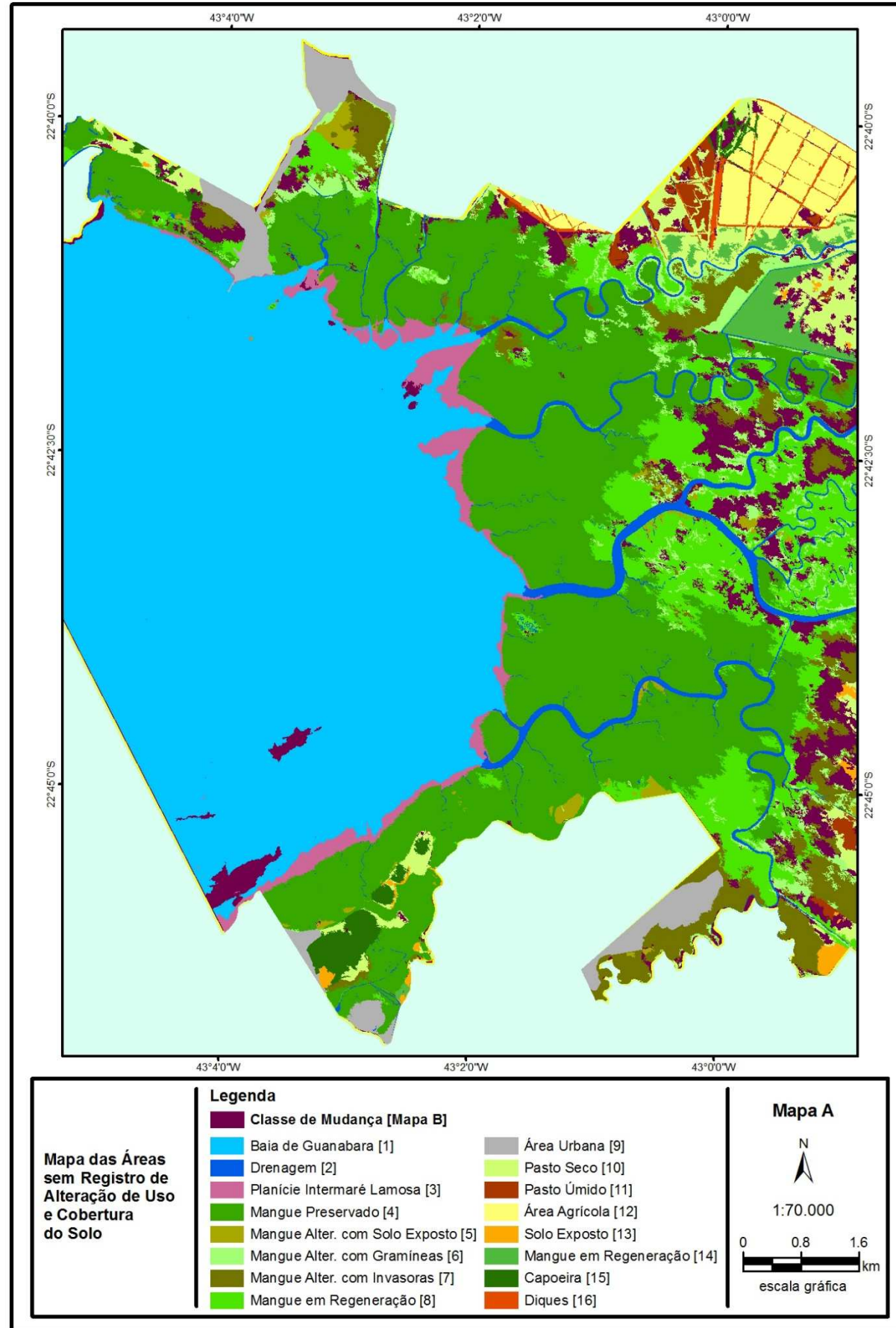


Figura 5.11 - Mapa da evolução do uso e cobertura do solo entre os anos 2006 e 2008.



## 5.5 - Refinamento da Carta SAO da APA de Guapi-Mirim

O manguezal, de maneira geral, é classificado como um ambiente altamente sensível a derrames óleo, pois o baixo hidrodinamismo dificulta a remoção natural do produto, favorecendo sua permanência no local por longos períodos. Por esta razão, o manguezal é representado nas Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo no grau máximo na escala do Índice. Esta classificação foi aplicada nos manguezais da APA de Guapi-Mirim, de acordo com suas Cartas SAO (ANEXOS I, II e III). Nesse sentido, faz-se necessário investigar, à luz dos resultados expostos no item anterior, as particularidades existentes na linha de costa da área de estudo.

Após a análise multitemporal das classificações sobre as imagens IKONOS 2006 e 2008, conclui-se que a APA de Guapi-Mirim exhibe, em quase toda sua orla, bosques de franja compostos por mangues em bom estado de preservação (Figura 5.6 e Figura 5.7), os quais são representados pela classe Mangue Preservado. A Figura 5.12 exhibe um exemplo da franja de mangue bem preservado (maiores detalhes, vide Figura 4.14 – Foto 33).



**Figura 5.12 - Exemplo de franja de mangue preservado na orla da APA de Guapi-Mirim.**

Uma categoria que chamou atenção, nem tanto pelas mudanças, mas principalmente pela sua conservação do ano 2006 para o ano 2008, foi a classe Planície Intermaré Lamosa. Como mencionado no Capítulo 4, a planície intermaré lamosa se forma pelo acúmulo de sedimentos flúvio-marinhos, principalmente na foz dos grandes rios. Isso indica que sua área de deposição é um local de baixa energia hidrodinâmica, pois favorece a acumulação de sedimentos de granulometria muito fina.

DIAS-BRITO & ZANINETTI (1979) *in* WIECZOREK (2006) propõem um modelo de separação dos tipos fisiográficos do manguezal em áreas de progradação e erosão, ou seja, áreas em que, de acordo com feições características dos canais de drenagem, ocorre a deposição ou erosão dos sedimentos. Assim, nas áreas de progradação, ocorre menor hidrodinamismo, há deposição gradual de sedimentos e o manguezal apresenta-se em “construção”, ou seja, a vegetação de mangue coloniza as áreas onde o sedimento está sendo depositado.

Como exposto no Capítulo 2, as bacias dos Rios Guapiaçu e Guapi/Macacu são as maiores de toda Região da Baía de Guanabara, sendo reponsáveis pela maior contribuição de água doce para a APA de Guapi-Mirim. Conseqüentemente, são bacias que possuem alto potencial de descarga de sedimentos na Baía de Guanabara, pois, quando os rios se aproximam do seu baixo curso, diminui a declividade e o material sedimentar vai sendo gradativamente depositado. O Rio Guapi, por exemplo, aumenta sua capacidade de depósito de sedimentos a partir do momento em que inicia seu meandramento nos domínios da Unidade de Conservação.

Ao alcançar a Baía de Guanabara, os sedimentos não são totalmente projetados para seu interior. Grande parte desse material se acomoda na área estuarina, principalmente fora do eixo da corrente fluvial. Esses depósitos sedimentares conferem uma resposta espectral específica às imagens IKONOS, possibilitando sua identificação, no presente trabalho, como Planície Intermaré Lamosa.

Cabe ressaltar que mais de 90% dos objetos que compõem a classe Planície Intermaré Lamosa, na classificação da imagem de 2006, permaneceram na mesma categoria após o processamento da imagem de 2008. Tais dados foram adquiridos sob condições de maré diferentes. Na primeira imagem, maré baixa; na imagem de 2008, maré acima do nível médio do mar. Este contexto maregráfico distinto indica que a parte emersa, representada pela Planície Intermaré Lamosa, constitui a consolidação das áreas de progradação no período de 2 anos.

Diante do exposto, pode-se afirmar que o local onde se desenvolve a planície intermaré lamosa, imediatamente à jusante da floresta de mangue, apresenta-se como um setor mais sensível a derrames de óleo, em virtude do seu baixo hidrodinamismo e de seu substrato lamoso associado às especificidades estruturais da flora do manguezal. Tal quadro configura a impossibilidade de ações de limpeza no caso de acidentes com vertimento de petróleo e derivados.

As Figura 5.12 e 5.13 ilustram a formação da planície intermaré lamosa associada à floresta de mangue preservado na orla da APA de Guapi-Mirim.








**Figura 5.13 - Local de deposição de sedimentos carreados pelo Rio Guapi.**

A identificação deste ambiente sensível justifica a proposta de refinar o grau 10 do Índice de Sensibilidade a Derrames de Óleo, conforme estabelecido por ARAUJO *et al.* (2007).

As Figuras 5.14 e 5.15 mostram os mapas de sensibilidade costeira a derrames de óleo, respectivamente, elaborados pela Petrobras e aquele proposto na presente dissertação. Tal refinamento se baseia na identificação de áreas de depósitos de sedimentos flúvio-marinhos através das classificações das imagens IKONOS dos anos 2006 e 2008. O grau 10a representa seções costeiras onde prevalece maior hidrodinamismo, principalmente representado pelas correntezas fluviais. O grau 10b representa seções costeiras de baixa movimentação hidrodinâmica, que favorece a deposição de sedimentos flúvio-marinhos de granulometria fina associados a mangues preservados na linha da orla da APA de Guapi-Mirim (Tabela 5.13).

**Tabela 5.13 - Proposta de Refinamento do Índice de Sensibilidade Costeira da APA de Guapi-Mirim**

Grau		Descrição	
	4	Praias de areia grossa; Praias intermediárias de areia fina a média, expostas; Praias de areia fina a média, abrigadas	
	8	Escarpa/encosta de rocha lisa, abrigada; Escarpa/encosta de rocha não lisa, abrigadas; escarpas e taludes íngrimes de areia, abrigados; Enrocamentos abrigados	
	10	Deltas e barras de rio vegetadas; Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas; Brejos salobros ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; Apicuns; Marismas; Manguezais (mangues frontais ou mangues de estuários)	
		<b>10a</b>	Mangue em seções costeiras onde prevalece alto hidrodinamismo, causado, principalmente, pelas correntezas fluviais.
		<b>10b</b>	Mangue em seções costeiras de baixa hidrodinâmica; depósitos de sedimentos flúvio-marinhos de granulometria fina, associadas à linha de costa com predominância de mangue preservado.

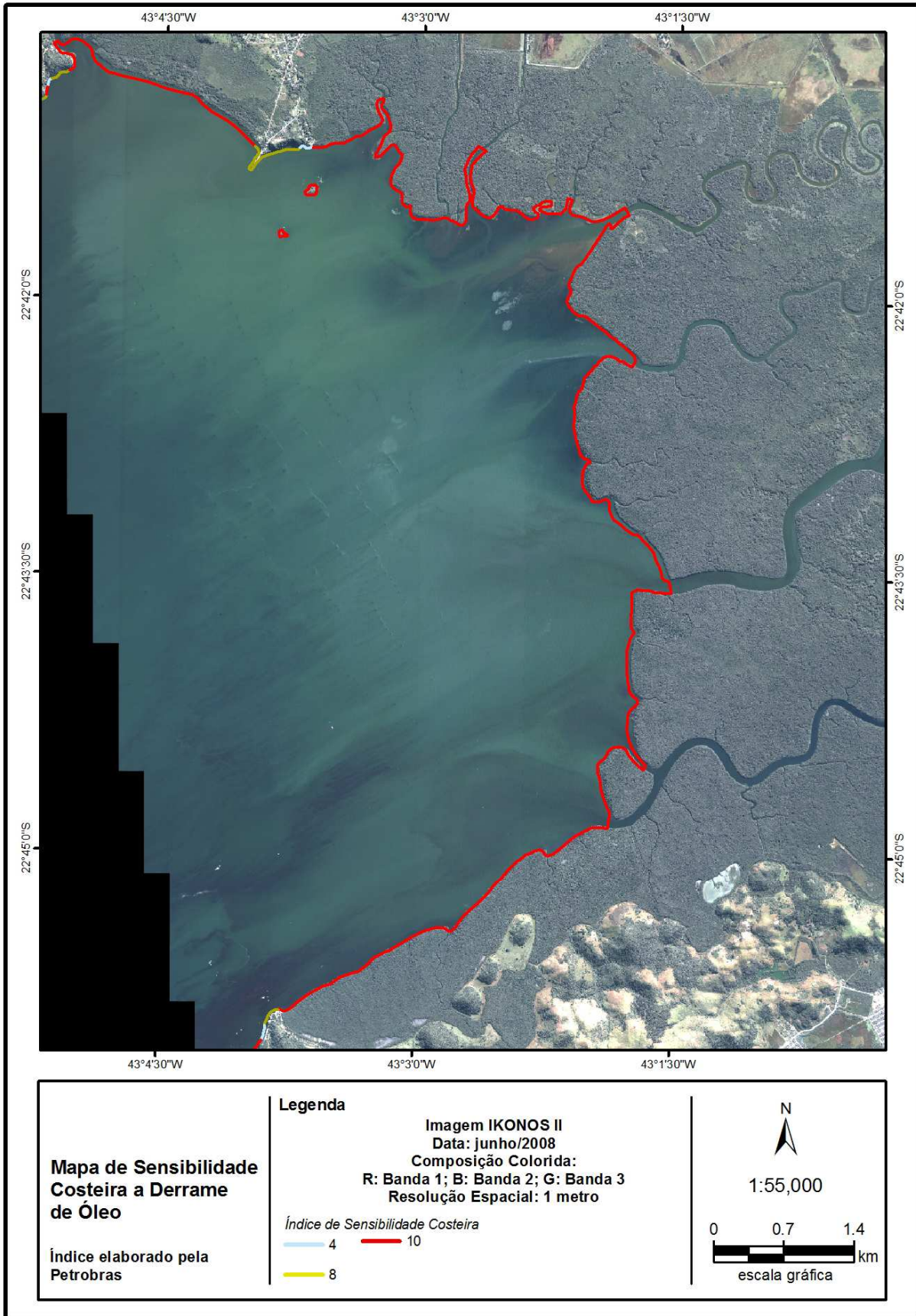


Figura 5.14 - Índice de Sensibilidade Costeira a Derrames de Óleo elaborado pela Petrobras.



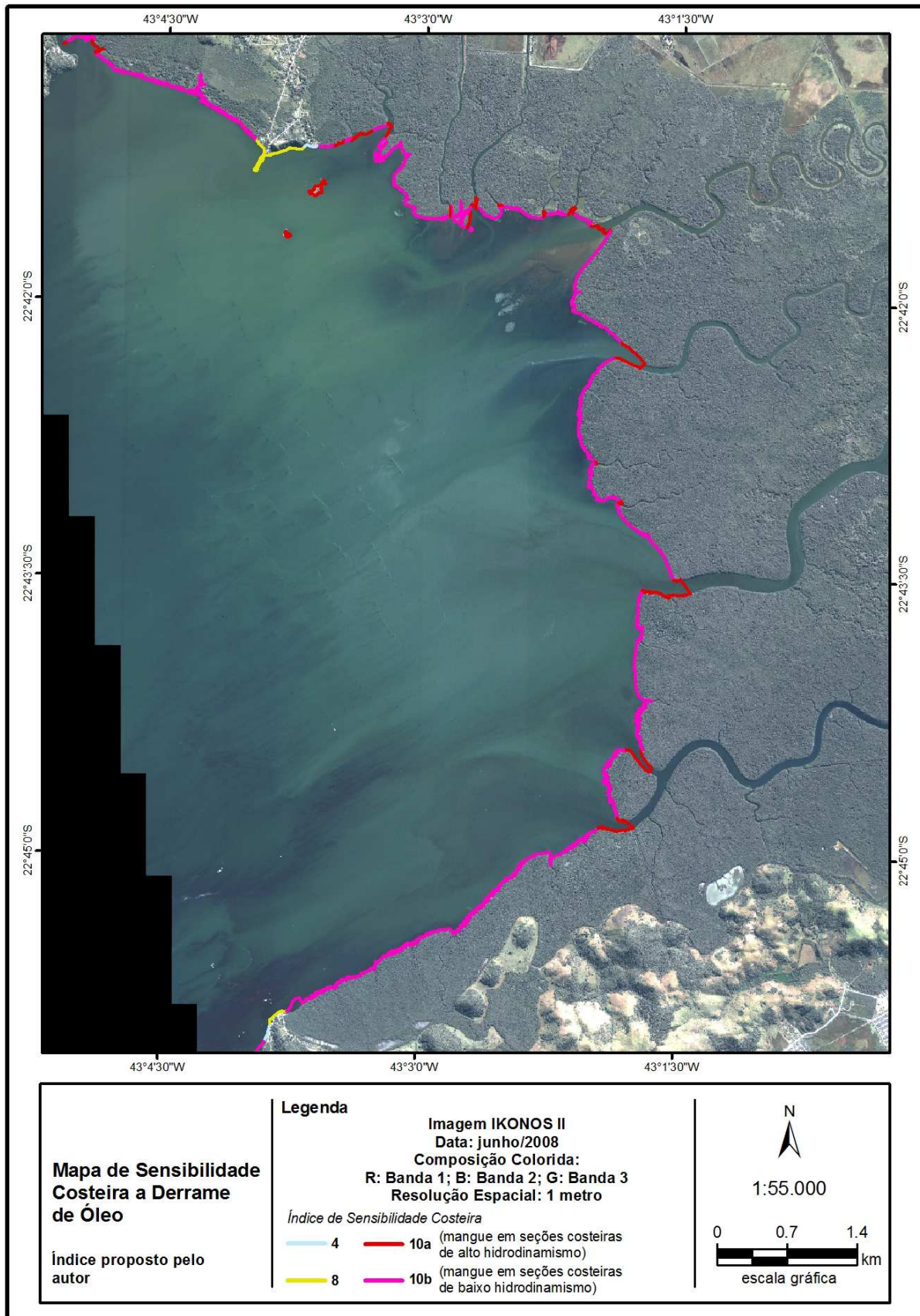


Figura 5.15 - Proposta de mapeamento de Sensibilidade Costeira a Derrames de Óleo considerando a hidrodinâmica e a planície intermaré lamosa associada ao mangue preservado.

É importante ressaltar que uma feição geográfica pode ser representada cartograficamente de três formas: ponto, linha ou polígono. A Petrobras elaborou suas Cartas SAO em vinte e quatro áreas em todo Brasil onde atua com atividades petrolíferas (ARAÚJO *et al.*, 2007). A escala adotada para elaboração das Cartas SAO foi a escala táctica (1:50.000). Para obter maior praticidade no mapeamento das feições de ambientes costeiros, fluviais e estuarinos, a Petrobras as representou como linha, abdicando dos detalhes inerentes a cada ambiente mapeado. As Cartas SAO da APA de Guapi-Mirim não são exceções. A representatividade cartográfica através de linha da sensibilidade ambiental a derrames de óleo do mangue de Guapi-Mirim não é adequada, pois a atuação das marés transpõe facilmente a linha de costa, adentrando o manguezal. Por esta razão, o polígono seria a melhor forma de representar a sensibilidade a derrame de óleo do mangue. Tal modificação deve constituir o tema de pesquisas futuras.

## CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho procurou ressaltar a importância do monitoramento ambiental da APA de Guapi-Mirim, em virtude das futuras instalações de indústrias potencialmente poluidoras, especialmente o novo Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ).

O estudo abordou técnicas de segmentação e classificação orientada a objetos, utilizando imagens do sensor IKONOS II, de alta resolução espacial. Esses dados foram adquiridos nos anos de 2006, marcado pela declaração oficial do início das obras para o novo empreendimento da Petrobras, e de 2008, ano em que começou efetivamente a pesquisa aqui exposta. Tais técnicas são recomendadas para pequenos recortes espaciais de ambientes intra-urbanos. Mudar o foco desta tendência para uma Unidade de Conservação constituiu um verdadeiro desafio, pois não é comum a aplicação deste método em grandes áreas com predominância de florestas em estados diversos de preservação e terrenos de uso rural.

O reconhecimento de campo foi fundamental para a estruturação da rede semântica dos alvos em estudo. Diversas fontes foram consideradas para a escolha das classes. O processo de segmentação orientada a objetos atendeu as perspectivas assumidas para a identificação de cada alvo de estudo em seus respectivos níveis de segmentação. A classificação das imagens IKONOS também foi desafiadora, visto que as características espectrais de uma classe não eram comuns em ambas as imagens. Assim, foi necessário identificar o intervalo dinâmico dos parâmetros descritivos de uma classe na imagem de 2006, os quais, nem sempre, serviam para discriminar a mesma classe na imagem de 2008. Contudo, a classificação das imagens IKONOS, tanto de 2006 quanto de 2008, atendeu aos requisitos do nível de confiabilidade graduado pelo índice *Kappa*.

A metodologia prosseguiu com a detecção de mudanças de uso e cobertura do solo de cada objeto em ambas as imagens. Diversas classes de mudanças foram registradas, porém apenas aquelas com boa representatividade espacial e semântica foram consideradas para a análise multitemporal. O resultado deste método foi satisfatório, mas a quantidade de classes da Zona de Proteção da Vida Silvestre foi considerada excessiva, pois ocasionou classes de mudança de significado inconsistente. Em contrapartida, o comportamento de algumas classes de mudança, como, por exemplo, a classe Mangue Alterado com Gramíneas para Rede de Drenagem, registrou o fenômeno da ação das marés, confirmando o potencial da imagem IKONOS para a detecção de mudanças.

A análise multitemporal serviu para entender a evolução do estado de conservação dos objetos em estudo. Cada zona da APA de Guapi-Mirim se destacou por razões específicas, a saber:

- Zona de Proteção da Vida Marinha: o ambiente aquático da APA de Guapi-Mirim merece maiores observações por parte das instituições e órgãos competentes. Verificou-se a consolidação de planícies intermaré lamosa à jusante dos manguezais da linha de costa, as quais podem proporcionar condições para a expansão da floresta de mangue em direção à Baía de Guanabara. Este processo é fomentado pela carga de sedimentos carregados pelos principais rios desta Unidade de Conservação. Caso o ritmo de deposição de sedimentos permaneça como o atual, em poucos anos será possível observar a alteração da linha de costa do fundo da Baía de Guanabara;
- Zona de Proteção da Vida Silvestre: observou-se que esta zona cumpre bem o objetivo com que foi proposta. Assim, as classes que a integram mostraram boa evolução quanto ao seu estado de conservação. Merece destaque para a classe Mangue em Regeneração, onde, de fato, houve um aumento da sua área. O estágio de sucessão de Mangue Alterado com Solo Exposto para Mangue Alterado com Gramíneas também indica a predominância do processo natural de regeneração da cobertura vegetal;
- Zona de Uso Sustentável: uma das características mais notáveis desta zona é a manutenção do uso do solo por intervenção antrópica. A classe que sofreu maior perda de superfície foi Solo Exposto. Considerou-se tal perda como natural, pois foi sucedida pela vegetação rasteira caracterizada como Pasto Seco.

O mapa da evolução do uso e cobertura do solo, entre os anos 2006 e 2008, ampliou a base teórica para o refinamento do Índice de Sensibilidade Costeira a Derrame de Óleo. Através das observações do comportamento da classe Planície Intermaré Lamosa, foi possível fundamentar a proposta de refinar tal índice. Concluiu-se que a acumulação de sedimentos na área estuarina, associada ao mangue preservado da linha de costa, apresenta possibilidade de acumulação de óleo, devido ao menor hidrodinamismo. Além disso, o local caracteriza-se pela dificuldade de acesso da equipe de limpeza e contenção em função do assoreamento acentuado.

O detalhamento do índice também resultou na maior precisão cartográfica, pois a linha de costa foi definida em escala maior do que as Cartas SAO da APA de Guapi-

Mirim. Esta atualização cartográfica torna o índice mais preciso, além de permitir ações de emergência mais eficazes.

Procurou-se utilizar o mapeamento da evolução do uso e cobertura do solo, estudado em escala local, para oferecer uma contribuição mais detalhada do Índice de Sensibilidade Costeira a Derrame de Óleo para a APA de Guapi-Mirim, com a finalidade de identificar características que justifiquem sua pormenorização. O refinamento do índice representa uma evolução técnica das Cartas SAO elaboradas pela Petrobras, pois incrementa a representatividade cartográfica das feições encontradas na área de estudo.

Diante das considerações finais, cabe apontar algumas recomendações, tanto para melhoramentos metodológicos como para a necessidade de expansão deste estudo para toda área de influência direta do COMPERJ, como segue:

- As dezesseis classes empregadas para mapear o uso e cobertura do solo da APA de Guapi-Mirim foram consideradas satisfatórias, especialmente pelo nível de detalhe com que as imagens IKONOS permitem identificar alvos no terreno. Porém, a utilização de todas elas para a detecção de mudanças foi avaliada como inadequada em função do intervalo temporal entre as imagens, pois muitas classes de mudanças registradas não totalizaram mais do que 1 hectare em superfície. Portanto, recomenda-se, para estudos futuros, a utilização de menor número de classes para detecção de mudanças;
- Encontrar os descritores e os respectivos valores que melhor identificassem cada classe foi um processo que demandou bastante esforço do especialista. Recomenda-se realizar alguns testes com métodos de classificação não supervisionada (clusterização) da base adotada (todos os objetos), considerando variáveis do tipo espectral, de textura e de forma. Tal abordagem permite a visualização de clusters de objetos distribuídos no espaço característico das variáveis selecionadas, possibilitando o reconhecimento das classes que melhor caracterizam cada objeto;
- A construção do COMPERJ entre as duas maiores bacias hidrográficas que drenam a APA de Guapi-Mirim exige maior atenção quanto a acidentes com vazamentos de óleo. Nesse sentido, faz-se imprescindível a elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo dos Rios Guapi, Macacú e Caceribu, de forma a subsidiar planos de ação em caso de uma emergência desta natureza;



- Para fundamentar os critérios técnicos do índice de sensibilidade ambiental a derrames de óleo, recomenda-se estudos de modelagem da rede de drenagem considerando dados de carga de sedimentos transportados pelos rios, dados de maré durante um período mais duradouro, dados de vazão dos níveis de cheia dos rios, dados climáticos, dentre outros. Com isso, é possível elaborar mapas com representatividade espacial das feições através de polígonos, os quais são mais adequados para mapeamentos de áreas planas em manguezais sujeitas à influência da maré e da descarga fluvial;
- Julga-se relevante o estudo da APA de Guapi-Mirim utilizando sensoriamento remoto por radar, notadamente nas bandas C e L, de modo a identificar a extensão de manguezais inundados em diferentes regimes de maré e na presença de alagamentos causados por eventos extremos de precipitação pluviométrica;
- Por fim, recomenda-se o estudo de detecção de mudança de uso e cobertura do solo para toda área de influência do COMPERJ, de forma a mensurar a modalidade das mudanças em andamento, como subsídio para ações específicas das instituições competentes.

## CAPÍTULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCO, M., 2004. *Modelagem de dados do satélite IKONOS II para estimativa de micronutrientes na floresta ombrófila mista montana*. Dissertação de M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal - UFPR, Curitiba, PR.
- ALMEIDA, B. M.; HAMACHER, C.; ALVES, J.R.P.; PEREIRA FILHO, O.; NEHRER, R., 2001. "Questões Sócioambientais". In: *Manguezais: educar para proteger*. Rio de Janeiro: SEMADS, pp. 19-34.
- ALMEIDA-FILHO, R., 1982. "Importância das Análises de Dados Multisazonais de Sensoriamento Remoto em Geologia". *II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*. Brasília. 10-14 de Maio.
- ., 2007. *Notas de aula da disciplina Sensoriamento Remoto Aplicado aos Sistemas Petrolíferos OnShore*. UFRJ/COPPE/PEC. Curso de Mestrado em Sistemas Petrolíferos, Rio de Janeiro. RJ
- AMADOR, E.S., 1997. *Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza*. Tese de D.Sc., Programa de Pós Graduação em Geografia, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- ANTUNES, A. F. B., 2003. *Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial*. Tese de D.Sc., Ciências Geodésicas, UFPR, Curitiba, PR.
- ARAÚJO, D.S.D.; MACIEL, N.C., 1979. *Os Manguezais do Recôncavo da Guanabara*. FEEMA, Rio de Janeiro, RJ.
- ARAUJO, S.I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D., 2002. *Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Sistema Petrobras: Ambientes Costeiros e Estuarinos*. Petrobras, Iarte. Rio de Janeiro, RJ. 170p.
- ARAUJO, S.I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D., 2007. *Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo - Ambiente costeiros, estuarinos e fluviais*. Petrobras, Ed. 2ª. Rio de Janeiro, RJ.
- BAATZ, M.; SCHÄPE, A. 2000. "Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation". *AGIT-Symposium*, Wichmann Verlag Heidelberg, pp. 12-23.
- BAATZ, M.; BENZ, U. *et al.*, 2003. *eCOGNITION – Object Oriented Image Analysis User Guide 3*. DEFINIENS IMAGING, pp. 3-20. Munique, Alemanha.

- BANNARI, A.; MORIN, D.; BONN, F.; HUETE, A.R., 1995. "A review of vegetation indices". *Remote Sensing Reviews*. Vol. 13, pp. 95-120.
- BAYARDINO, R. A. 2004. *A Petrobras e o desafio da Sustentabilidade Ambiental*. Monografia de Bacharelado, Instituto de Economia - UFRJ, 2004. Rio de Janeiro, RJ.
- BEISL, C.H., 2009. *Utilização de mosaicos JERS-1 SAR e de lógica fuzzy para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental temporal a derrames de óleo na Amazônia Central*. Tese de D.Sc, UFRJ/COPPE, 196p, Rio de Janeiro, RJ.
- BENTZ, C.M.; MIRANDA, F.P., 2001. "Application of remote sensing data for oil spill monitoring in the Guanabara Bay, Rio de Janeiro, Brazil". *Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'2001)*, Sydney.
- BLASCHKE, T.; KUX, H., 2007. *Sensoriamento Remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores e métodos inovadores*. Oficina de Textos, São Paulo, 286p.
- BLASCHKE, T.; LANG, S.; LORUP, E.; STROBEL, J. ZEIL, P., 2000. "Object -oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications". In: CREMERS, A.; GREVE, K. (eds.), *Environmental Information for Planning, Politics and the Public*. Metropolis, Marburg, v. 2, pp. 555-570.
- BRITES, R. S.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A., 1996. "Efeitos da Estratégia de Amostragem na Exatidão Reportada pelo Índice Kappa na Classificação de Imagens Orbitais". *Anais - VIII Simpósio de Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador, BA, pp. 823-829.
- CARMO, T.M.S. *et al.* 1995. Os manguezais da Baía Norte de Vitória, Espírito Santo: um ecossistema ameaçado. *Revista Brasileira de Biologia*. 55, Vol. 4.
- CARVALHO, M. 2003. *"Mapeamento da sensibilidade ambiental ao impacto por óleo de um segmento da costa entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará utilizando imagens ETM+/LANDSAT-7 e geoprocessamento"*. Dissertação de M.Sc. INPE. São José dos Campos, SP, p. 186.
- CEDAE, 2009. Estação de tratamento de água. Disponível em <http://www.cedae.rj.gov.br/>. Acesso em julho de 2009.
- CENTENO, J.; CAVASSIM JUNIOR, I., 2003. "Classificação de uma imagem IKONOS utilizando as técnicas "pixel a pixel" e a análise orientada a região". *Anais III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas*. Curitiba, PR.

- COHEN, J., 1960. "A coefficient of agreement for nominal classes". *Educational and Psychological Measurement*, Vol. 20, pp. 37-40.
- COLWELL, J.E., 1974. "Vegetation canopy reflectance". *Remote Sensing of Environment*. Vol. 3, pp. 175-183.
- CONGALTON, R. G.; ODERWALD, R.G.; MEAD, R.A., 1983. "Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate statistical techniques". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 49, No 12, pp. 1671-1678.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K., 1999. *Assessing the Accuracy of Remote Sensed Data: Principle and Practices*, Lewis Publishers, Boca Raton - FL, 123p.
- COUTO, M. N. C., 2006, *Percepção Ambiental de Grupos Representativos da Comunidade de Itaoca, São Gonçalo/RJ*. Dissertação de M.Sc, Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, UFF, Niterói, RJ, p. 77.
- CURRAN, P.J., 1995. *Principles of Remote Sensing*. Longman Scientific & Technical. New York - EUA, p. 282.
- DAI, X. L.; KHORRAM, S., 1999. "Remotely sensed change detection based on artificial neural networks". In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65, pp. 1187–1194.
- DANNEMANN, F.K., 2008. "Marés, o que são?". In: *Recanto das Letras*. Disponível em <http://www.fernandodannemann.recantodasletras.com.br/visualizar.php?id=1047902>. Acesso em agosto de 2009.
- DEFINIENS. 2003. *Ecognition User Guide 3*. München: DEFINIENS IMAGING.
- DEFINIENS AG., 2007a. *User Guide - Definiens Developer 7*. München: Definiens AG.
- DEFINIENS AG., 2007b. *Definiens Developer 7.0 - Rule Set Training*. München, Defieniens AG.
- DEFINIENS AG., 2007c. *Reference Book*. München, Defieniens AG.
- DIAL, G.; BOWEN, H.; GERLACH, F.; GRODECKI, J.; OLESZCZUK, R., 2002. "IKONOS satellite, imagery and products". *Remote Sensing of Environment*, pp. 23-36.
- ENCARNAÇÃO, S. A.; TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J., 2005. "Segmentação Multiresolução e Classificação Orientada a Objecto de Imagens SPOT". Disponível em [www.igeo.pt/igeo/portugueses/servicos/cdi/biblioteca/publicacoesigp\\_files/esig\\_2004](http://www.igeo.pt/igeo/portugueses/servicos/cdi/biblioteca/publicacoesigp_files/esig_2004). Acesso em julho de 2009.

- ENCARNAÇÃO, S. A. A., 2004. *Análise de Imagem Orientada a Objecto - Abordagem conceptual e experimentação a partir de imagens Quickbird*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- ESTEVAM, E. A., 2006, *Classificação de áreas de favelas a partir de imagens Ikonos: viabilidade de uso de uma abordagem orientada a objetos*. Dissertação de M.Sc. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP.
- FERRAZ, P., 2005. *Influência da geometria de iluminação e do ângulo de visada na resposta espectral da cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.)*. Dissertação de M.Sc. Escola Superior de Agricultura. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, p. 76.
- FOODY, G.M. 2002. "Status of land cover classification accuracy assessment". *Remote Sensing of Environment*, v.80, pp 185-201.
- FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2001, *Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica - período 1995-2000*. Fundação SOS Mata Atlântica, São Paulo.
- GEOEYE, 2006, "Product order metadata". IKONOS-2. Colorado, EUA..
- GEOEYE, 2008, "Product order metadata". IKONOS-2. Colorado, EUA..
- GOEL, N.S.; STREBEL, D.E., 1984. "Simple beta distribution representation of leaf orientation in vegetation canopies". *Agronomy Journal*. vol. 76, pp. 800-803.
- GONG, P., 1993. "Change detection using principal component analysis and fuzzy set theory". In: *Canadian Journal of Remote Sensing*, 19, pp. 22–29.
- GONZALEZ, R.C., WINTZ, P. 1987. *Digital image processing*. Prodding: Addison Wesley, p. 431.
- GRAÇA, P. M. L. A., 2004. *Monitoramento e Caracterização de Áreas Submetidas à Exploração Florestal na Amazônia por Técnicas de Detecção de Mudanças*. Tese de D.Sc, INPE, São José dos Campos, SP, 275p.
- HARALICK, R.; SHANMUGAN, K.; DINSTEN, I., 1973. "Textural features for image classification". In: *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 3, n.º 1, pp. 610 - 621.
- HAYES, J. D.; SADER, A. S., 2001. "Change detection techniques for monitoring forest clearing and regrowth in a tropical moist forest". *Photogram. Engin. Remote Sensing*, pp. 1067–1076.



- HOWARTH, P. J.; BOASSON, E., 1983. "Landsat digital enhancements for change detection in urban environments". In: *Remote Sensing of Environment*, 13, pp. 149-160.
- HUETE, A.R., 1988. "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 25, pp. 295-309.
- IBAMA; IBG, 2001. *Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental de Guapi-Mirim*. MMA, Niterói, RJ, p. 381.
- IBAMA. 2001. *Parque Nacional da Serra da Bocaina – Plano de manejo*. IBAMA, Rio de Janeiro, RJ.
- IPJB, 2009. Projeto Manguezal. *Jardim Botânico do Rio de Janeiro*. Disponível em [http://www.jbrj.gov.br/pesquisa/projetos\\_especiais/manguezal.htm](http://www.jbrj.gov.br/pesquisa/projetos_especiais/manguezal.htm). Acesso em agosto de 2009.
- ISHIKAWA, M. I., 2001. *Potencialidades de uso de imagens IKONOS/GEO para aplicações em áreas urbanas*. Dissertação de M.Sc. Ciências Cartográficas. UNESP, Presidente Prudente, SP.
- JACKSON, R.D.; HUETE, A.R., 1991. "Interpreting vegetation indices". *Preventive Veterinary Medicine*, Vol. 11, pp. 185-200.
- JACOBSEN, K., 2003. "Geometric Potential of IKONOS and QuickBird Images". *GeoBIT/GIS*. pp. 33-39.
- JENSEN, R. J., 1982. "Detecting Residential Land-use Development at the Urban Fringe". In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.48, n.º 4, pp. 629-643.
- JICA, 1993. *Study of the Recuperation of the Guanabara Bay Ecosystem*. JICA (Japan International Cooperation Agency), Rio de Janeiro, RJ.
- KAI, L.; MULLER, J.P., 1991. Segmentation satellite imagery: a region growing scheme. In: IGARSS' 91, Helsink, 1991. *Proceedings*. Piscataway, IEEE, v. 2: p. 1075-1078.
- KAMPEL, M.; AMARAL, S., 2001. "Imagens TM/LANDSAT na Detecção de Mancha de Óleo na Baía da Guanabara – RJ – Brasil". In: *X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Foz do Iguaçu, PR. 21-26 Abril. pp. 801-809.
- LACERDA, C. S., 2006. *Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo – Cartas SAO – para a Costa Oeste da Lagoa dos Patos, RS, Brasil*,

Monografia de Graduação. Curso de Oceanografia, UFRS, Rio Grande, RS. p. 67.

LACORTE, M.H.; ANDRADE, F.M., 1988. "O Rio e o recôncavo da Guanabara: Roteiro das Excursões". In: *XX Congresso AGB*.

LANDIS, J.; KOCH, G., 1977. "The measurement of observer agreement for categorical data". In: *Biometrics*. 33, pp. 159-174.

LEBLON, B.; GRANBERG, H; ANSSEAU, C.; ROYER, A., 1993. "A semi-empirical model to estimate the biomass production of forest canopies from spectral variables. Part 1: Relationship between spectral variables and light interception efficiency". In: *Remote Sensing Reviews*,. Vol. 7, pp. 109-125.

LEPRIEUR, C.; VERSTRAETE, M.M.; PINTY, B., 1994. "Evaluation of the performance of various vegetation indices to retrieve vegetation cover from AVHRR data". In: *Remote Sensing Reviews*. Vol. 10, pp. 265-284.

LIMA, S.C., 2008. *Utilização de imagens SAR para a detecção de exsudações de óleo na porção offshore da Bacia de Camamu-Almada (BA), Brasil*. Dissertação de M.Sc. UFRJ/COPPE/PEC, Rio de Janeiro, RJ. p. 187.

LOBÃO, J. S. B.; FRANÇA-ROCHA, W. J. S.; SILVA, A. B., 2005. "Aplicação dos índices KAPPA e PABAK na validação da classificação automática de imagem de satélite em Feira de Santana – BA". In: *Anais - XII Simpósio de Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, GO. pp. 1207 - 1214.

LOCH, C., 2005. "Cadastro Técnico Multifinalitário: Instrumento de Política Fiscal e Urbana". In: Diego Alfonso Erba. (Org.). *Cadastro Multifinalitário como Instrumento de Política fiscal e Urbana*. 336 ed. Rio de Janeiro: Caixa Econômica Federal, p. 71-103.

LYON, J.G.; YUAN, D.; LUNETTA, R.S.; ELVIDGE, C.D., 1998. "A change detection experiment using vegetation indices". In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 64, pp. 143-150.

MACOMBER, S. A.; WOODCOCK, C. E., 1994. "Mapping and monitoring conifer mortality using remote sensing in the Lake Tahoe Basin". In: *Remote Sensing of Environment*. pp. 255-266.

MAGRINI, A.; SANTOS, M.A., 2001. *Gestão Ambiental de bacias Hidrográficas*. COPPE/UFRJ. p. 271. Vol. 1. Rio de Janeiro, RJ.

- MARINHA DO BRASIL, 2008. Tábuas de Maré. Disponível em <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>. Acesso em julho de 2008.
- MEDINA, G. L. P., 2007. *Identificação de áreas de risco de transmissão de Leishmaniose Tegumentar através de imagens de satélite e análise espacial*. Dissertação de M.Sc. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ. p. 114.
- MEINEL, G.; NEUBERT, M., 2002. "A comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data". In: *XX International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) Congress*, Istanbul, Turkey. July 12-23, 2004. pp. 1097-1102.
- MEYER, W.B., 1995. "Past and Present Land-use and Land-cover in the U.S.A.". In: *Consequences*, pp. 24-33.
- MMA, 2002a. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.mma.gov.br/sitio/>. Acesso em agosto de 2009.
- MMA, 2002b. *Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo*. Ministério do Meio Ambiente, Distrito Federal, p. 22.
- MORAES, E. C., 2002. "Fundamentos de Sensoriamento Remoto". In: *Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente*. INPE. São José dos Campos, SP.
- MORAES, L.E.S.; GHERARDI, D.F.M.; FONSECA, L.M.G., 2009. "Análise multi-temporal da cobertura vegetal do tipo manguezal da APA de Guapimirim (RJ) através do processamento de imagens TM-LANDSAT". In: *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, pp. 4615-4622.
- MOREIRA, M.A., 1997. *Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agronômicos*. Tese de D.Sc. Solos e Nutrição de Plantas. Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 142p.
- MORGAN, M.S.; INQUE, Y.; BARNES, E.M., 1997. "Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management". In: *Remote Sensing of Environment*, Vol. 61, pp. 319-346.
- NASCIMENTO, P. S. R.; ALMEIDA, R., 1996. "Utilização de Técnica de Segmentação em Imagens TM/Landsat Visando Otimizar a Técnica de Interpretação Visual", In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador. BA. INPE/SELPER, 1996. 1 CD-ROM.

- NASCIMENTO, P. S. R., 1997. *Avaliação de Técnicas de Segmentação E Classificação por Regiões em Imagens LANDSAT-TM Visando o Mapeamento de Unidades de Paisagem na Amazônia*. Dissertação de M.Sc.. INPE, São José dos Campos, SP. 120p.
- NEUBERT, M.; GOTTHARD, M., 2007. "Análise de dados do satélite IKONOS baseada em segmentação - Utilização do software de análise de dados eCognition para diferentes áreas-testes". In: *Sensoriamento Remoto e SIG Avançados*. Oficina de Textos, São Paulo, SP.
- NOAA. 2002. "*Environmental Sensitivity Index Guidelines*". National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NOS OR&R 11, version 3.0, 2002. p. 192.
- OLIVEIRA, J. C.; SILVA, J. M. F., 2005. "Influência da segmentação no processo de classificação por região". In: *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, pp. 4209 – 4216, Goiânia, GO.
- PAHL, M., 2003. *Arquitetura de um Sistema Baseado em Conhecimento para Interpretação de Dados de Sensoriamento Remoto de Múltiplos Sensores*. Tese de D.Sc. Tecnologia da Informação. Universidade de Hannover, Hannover, Alemanha.
- PEREIRA FILHO, O.; ALVES, J.R.P., 1999. *Conhecendo o Manguezal*. Grupo Mundo Lama, Rio de Janeiro. RJ
- PETROBRAS, 2008. *Relatório de Impactos Ambientais do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro*. Petrobras, Rio de Janeiro, RJ.
- PINHO, C. M. D., 2005. *Análise orientada a objetos de imagens de satélite de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos – SP*. Dissertação de M.Sc. INPE, São José dos Campos, SP.
- PIRES, I. O., 1986. *Mapeamento de manguezais do recôncavo da Baía de Guanabara, RJ, através de técnicas de sensoriamento remoto*. Dissertação de M.Sc.. Sensoriamento Remoto e Aplicações, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP.
- . 1992. *Monitoramento dos Manguezais da APA de Guapi-Mirim-RJ, através da Correlação de Dados de Radiância TM-Landsat*. Tese de D.Sc., Departamento de Geografia. USP. São Paulo, SP.

- . 1993. *Índice digital da cobertura fotossintética em bosques de mangues. Exemplo: APA Guapimirim, RJ*. In: *Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*.
- PIRES, I.; SILVA, C. T.; MATEUS, L. G., 2007. "Implantação do Complexo Petroquímico da Petrobras em Itaboraí, RJ. Classificação do uso do solo e da cobertura vegetal das sub-bacias dos rios Cacerebu e Macacu, Bacia Leste da Região Hidrográfica da Baía de Guanabara". In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. p. 6051-6057.
- PLANIDRO. 1970. *Ampliação do Abastecimento de Niterói e São Gonçalo; estudo hidrológico e inquérito sanitário*. Rio de Janeiro: s.n..
- QUEIROZ, A. F. S; CELINO, J. J., 2008. *Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos*. 1ª ed., UFBA, Salvador, BA. p. 134-148.
- REIS, C. H., 2007. *Caracterização espacial do uso da terra em áreas de manguezais utilizando diferentes sistemas orbitais - um caso aplicado aos manguezais da APA Guapimirim*. Tese de D.Sc., Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRJ. Rio de Janeiro.
- RICHERDSON, A.J.; WIEGAND, C.L., 1977. "Distinguishing Vegetation from Soil Background Information". In: *Photogramm. Eng. Remote Sensing*, Vol. 43, pp. 1541-1552.
- RIDD, M. K.; LIU, J., 1998. "A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment". In: *Remote Sensing of Environment*, 63, pp. 95–100.
- RIEBSAME, W.E.; MEYER, W.B.; TURNER, B.L., 1994. "Modeling Land-use and Cover as Part of Global Environmental Change". In: *Climate Change*, Vol. 28, p. 45.
- ROCHA, A. D., 2007. *Caracterização de áreas de expansão urbana como subsídio ao planejamento urbano por meio de técnicas de segmentação orientada a objetos de imagens Quickbird*. Dissertação de M.Sc., Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 120p.
- ROGAN, J.; MILLER, J.; STOW, D.A.; FRANKLIN, J.; LEVIEN, L.; FISCHER, C., 2003. "Land-Cover Change Monitoring with Classification Trees Using Landsat TM and Ancillary Data". In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(7), pp. 793-804.



- RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F., 1996. "Optimization of soil adjusted vegetation indices". In: *Remote Sensing of Environment*. Vol. 55, pp. 95-107.
- ROSA, M. F. M., 2005. *As condições de trabalho e saúde dos pescadores e catadores de caranguejos da região de manguezais da APA de Guapimirim*. Dissertação de M.Sc., UERJ, Rio de Janeiro. RJ.
- ROSENFELD, G.H.; FITZPATRICK-LINS, K., 1986. "A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy". In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.52, n.2, p.223-227.
- ROUSE, J. W.Jr.; HAAS R.H.; SCHELL J.A.; DEERING D.W., 1973. Monitoring Vegetation Systems in The Great Plains with ERTS. In: *Earth Resource Technology Satellite-1 Symposium*. Goddard Space Flight Center, pp. 309-317.
- ROUSE, J.W.Jr.; HAAS R.H.; DEERING D.W.; SCHELL J.A.; HARLAN J.C., 1974. *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green Wave Effect) of natural vegetation*. In: *NASA/GSFC Type III Final Report*, Greenbelt.
- SANGLARD, P. E. E., 2000. *A atuação do Ministério Público Estadual na proteção de meio ambiente de Magé e Guapimirim, Brasil (1991/1998)*. Dissertação de M.Sc., UFF, Niterói, RJ.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G., 1983. *Introducción a la Ecología del Manglar*. In: *Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe - ROSTLAC*, Montevideo, URU.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y., 1995. *Manguezal: Ecosistema entre a Terra e o Mar*. [ed.] USP: Instituto Oceanográfico. Caribbean Ecological Research, São Paulo. 64p.
- SCHIEWE, J.; TUFTE, L.; EHLERS, M., 2001. "Potencial and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing". In: *GIS-Informationssysteme*. v. 6. 2001, pp. 34-39.
- SEGADAS, S.M.T., 1987. "A integração do recôncavo da Guanabara na área metropolitana do Grande Rio de Janeiro. Secretaria Municipal de Cultura". In: *Rio de Janeiro Cidade e Região*. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Secretaria Municipal de Cultura, Rio de Janeiro, RJ.
- SEMADS, 2001. *Manguezais: educar para proteger*. Rio de Janeiro, s.n..

- SILVA, A. A., 2005. "Uso de Sensoriamento Remoto para o Monitoramento Ambiental dos Cerrados". In: *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. USP, São Paulo, SP.
- SILVA, J.A., 2000. *Direito Ambiental e Constitucional*. 3ª ed. Malheiros, São Paulo, pp. 191-207.
- SINGH, A., 1989. "Digital change detection techniques using remotely-sensed data". In: *Journal Remote Sensing*. 10, pp. 989–1003.
- SPACE IMAGING, 1999. IKONOS imagery products and product guide. Disponível em <http://www.spaceimaging.com/aboutus/satellites/IKONOS/ikonos.html>. Acesso em maio de 2003.
- SPACE IMAGING, 2006. Disponível em <http://www.spaceimaging.com>. Acesso em agosto de 2006.
- SPRING, 2009. Classificação de Imagens. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>. Acesso em julho de 2009.
- SUGIYAMA, M., 2003. *Estudo de florestas na restinga da Ilha do Cardoso, Cananéia, SP*. Dissertação de M.Sc., Instituto de Biociências, USP, São Paulo.
- TENG, T.K., 2009. Introdução a Cromoterapia. Disponível em <http://somostodosum.ig.com.br/conteudo/conteudo.asp?id=01283>. Acesso em agosto de 2009.
- TORTELL, P., 1992. "Coastal Zone Sensitivity Mapping and its role in marine environmental management". In: *Marine Pollution Bulletin*. Vol. v. 25, pp. 88-93.
- VANNUCCI, M., 2002. *Os manguezais e nós*. EDUSP, São Paulo.
- VIARURAL, 2009. Manguezal. Disponível em <http://br.viarural.com/agricultura/flora/rhizophora-mangle-vermelho-04.jpg>. Acesso em junho de 2009.
- WIECZOREK, A., 2006. *Mapeamento de Sensibilidade a Derramamentos de Petróleo do Parque Estadual da Ilha do Cardoso - PEIC e Áreas do Entorno*. Dissertação de M.Sc., Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, SP, 157p.
- YANG, X., 2003. "Remote Sensing and GIS for Urban Analysis: An Introduction". In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. september 2003, pp. 937-939.

## **ANEXO I**

### **Mapa de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo – Baía de Guanabara**

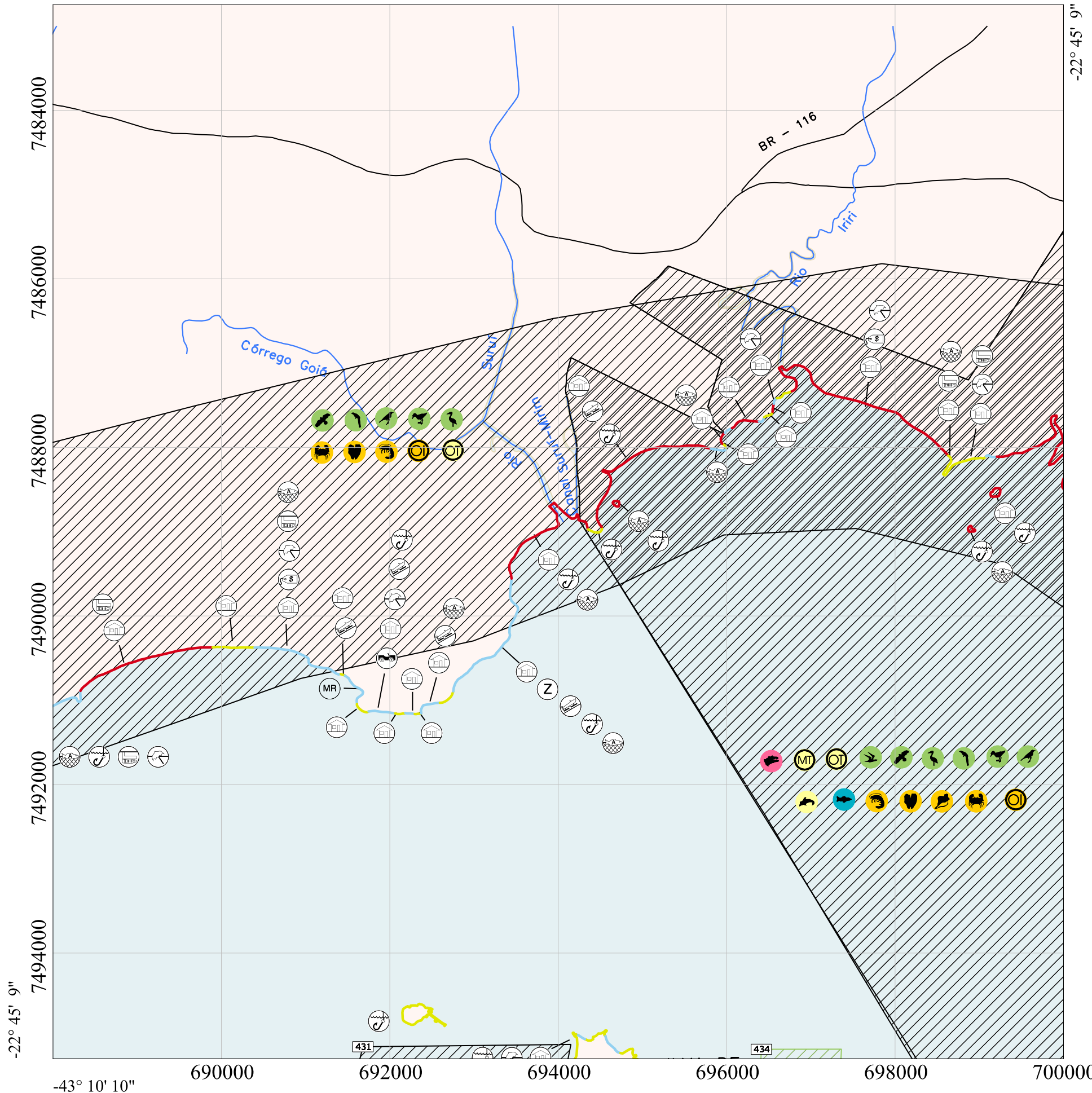
**Folha: Guapimirim**

# Mapa de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo - Baía de Guanabara

Nome da Folha: Guapimirim

-43° 10' 10"

-22° 45' 9"



## Classificação dos Hábitats

(ordem crescente de sensibilidade aos derrames de óleo)

### Sensibilidade Costeira

- 8 — Escarpa/encosta de rocha lisa, abrigada; escarpa/encosta de rocha não lisa, abrigadas; escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados; enrocamentos (RIP-RAP e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados
- 10 — Deltas e barras de rio vegetadas; terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas; brejos salobros ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; apicuns; marismas; manguezais (mangues frontais ou mangues de estuários)
- 4 — Praias de areia grossa; praias intermediárias de areia fina a média, expostas; praias de areia fina a média, abrigadas

### Recursos Biológicos

#### Aves

- Aves limícolas
- Aves terrestres não passeriformes
- Aves terrestres passeriformes
- Aves marinhas costeiras
- Aves de rapina
- Aves aquáticas continentais - garças, flamingos, biguás, colhereiro, etc

#### Mamíferos aquáticos

- Golfinhos

#### Répteis

- Jacarés

#### Peixes

- Peixes

#### Multigrupos

- Área de Concentração

#### Mamíferos terrestres

- Outros mamíferos terrestres
- Mamíferos terrestres

#### Invertebrados

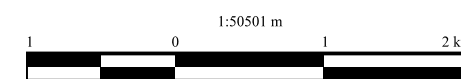
- Outros invertebrados
- Bivalves
- Camarões
- Siris e Caranguejos
- Gastrópodes

### Recursos Sócio-Econômicos

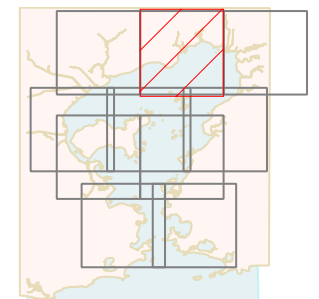
- Multigrupo
- Comércio
- Colônia de pescadores
- Casas residenciais/veraneio
- Estrada de acesso à costa
- Pesca artesanal
- Pesca esportiva
- Pier
- Praia recreacional
- Rampa para barcos

### Temas Básicos

- Estradas e Vias Principais
- Outros
- Hidrografia
- APA
- Continente
- Oceano



Convergência Meridiana para o centro da folha  
γ = 5° 30' 26"



Este documento é de propriedade da Petróleo Brasileiro S.A, e não pode ser reproduzido ou usado para qualquer finalidade diferente daquela para a qual está sendo fornecido

		Petrobras/Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello - CENPES TecGraf/PUC-Rio	
Mapa de Sensibilidade Ambiental - Baía de Guanabara			
Escala: 1:50501	Datum: SAD69	Projeção: UTM	Meridiano: -45.0
Número: Guapimirim			Data: 26-10-2009

## **ANEXO II**

### **Mapa de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo – Baía de Guanabara**

**Folha: Itaboraí**

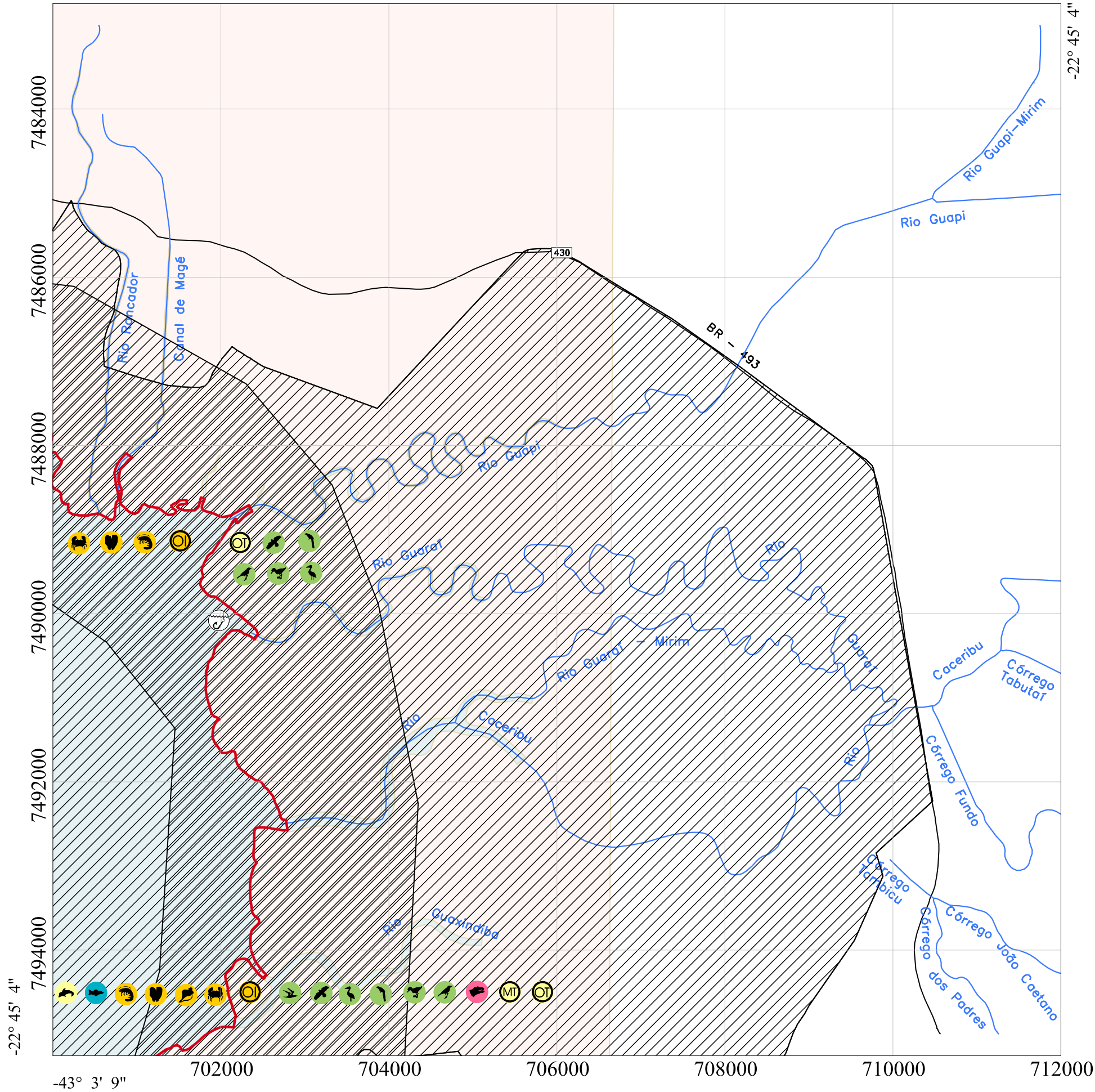


# Mapa de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo - Baía de Guanabara

Nome da Folha: Itaboraí

-43° 3' 9"

-22° 45' 4"



## Classificação dos Hábitats

(ordem crescente de sensibilidade aos derrames de óleo)

### Sensibilidade Costeira

- 10 Deltas e barras de rio vegetadas; terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas; brejos salobros ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; apicuns; marismas; manguezais (mangues frontais ou mangues de estuários)

### Recursos Biológicos

#### Aves

- Aves terrestres não passeriformes
- Aves limícolas
- Aves terrestres passeriformes
- Aves marinhas costeiras
- Aves de rapina
- Aves aquáticas continentais - garças, flamingos, biguás, colhereiro, etc

#### Mamíferos aquáticos

- Golfinhos

#### Répteis

- Jacarés

#### Peixes

- Peixes

#### Multigrupos

- Área de Concentração

#### Mamíferos terrestres

- Outros mamíferos terrestres
- Mamíferos terrestres

#### Invertebrados

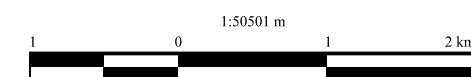
- Outros invertebrados
- Bivalves
- Camarões
- Siris e Caranguejos
- Gastrópodes

#### Recursos Sócio-Econômicos

- Pesca esportiva

#### Temas Básicos

- Estradas e Vias Principais
- Outros
- Hidrografia
- APA
- Continente
- Oceano



Este documento é de propriedade da Petróleo Brasileiro S.A, e não pode ser reproduzido ou usado para qualquer finalidade diferente daquela para a qual está sendo fornecido

**PETROBRAS** Petrobras/Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello - CENPES TecGraf/PUC-Rio

Mapa de Sensibilidade Ambiental - Baía de Guanabara			
Escala: 1:50501	Datum: SAD69	Projeção: UTM	Meridiano: -45.0
Número: Itaboraí			Data: 26-10-2009

## **ANEXO III**

### **Mapa de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo – Baía de Guanabara**

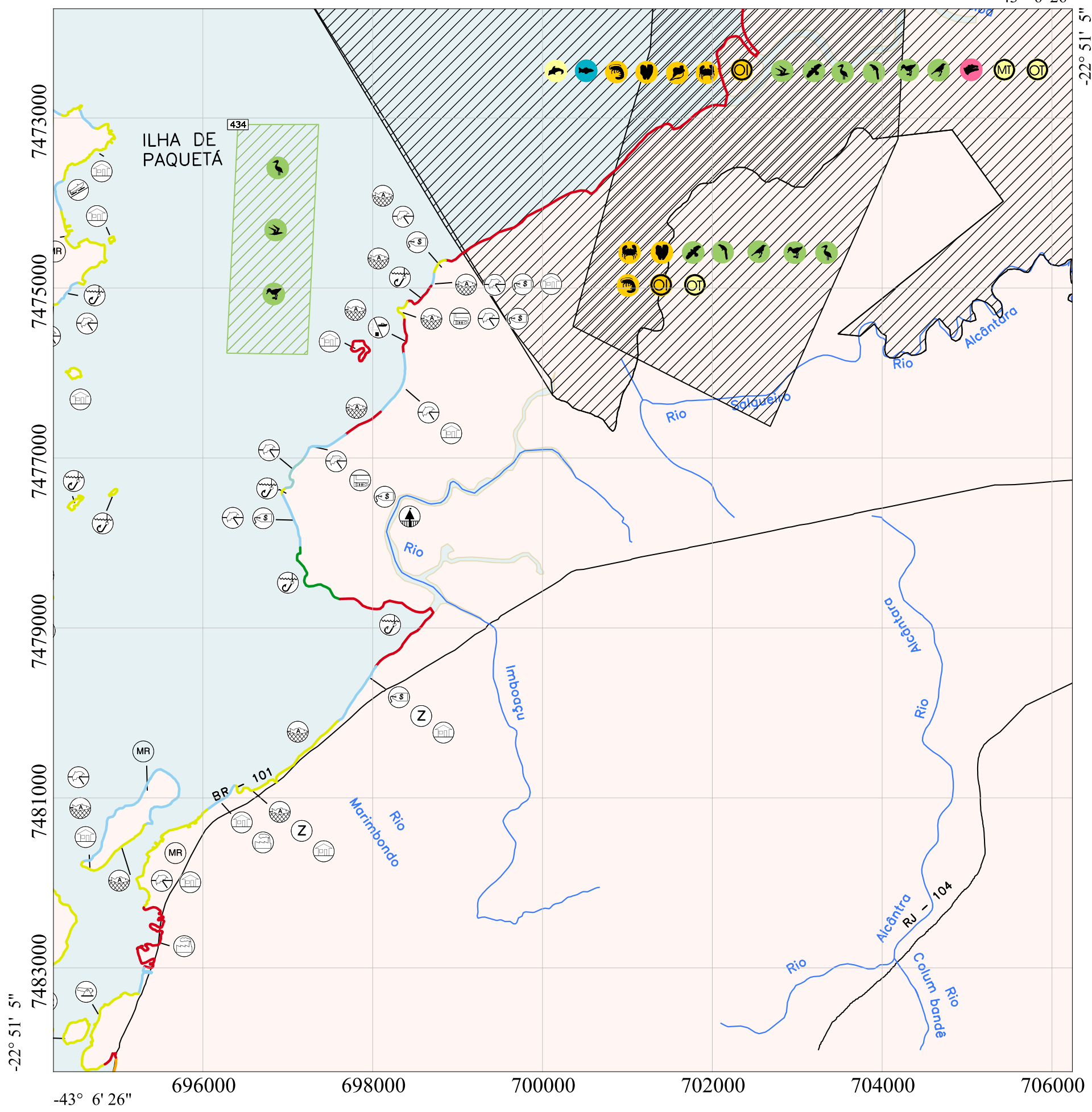
**Folha: Praia da Luz**

# Mapa de Sensibilidade Ambiental a Derrame de Óleo - Baía de Guanabara

Nome da Folha: Praia da Luz

-43° 6' 26"

-22° 51' 5"



## Classificação dos Hábitats

(ordem crescente de sensibilidade aos derrames de óleo)

### Sensibilidade Costeira

- 8 — Escarpa/encosta de rocha lisa, abrigada; escarpa/encosta de rocha não lisa, abrigadas; escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados; enrocamentos (RIP-RAP e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados
- 4 — Praias de areia grossa; praias intermediárias de areia fina a média, expostas; praias de areia fina a média, abrigadas
- 10 — Deltas e barras de rio vegetadas; terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas; brejos salobros ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; apicuns; marismas; manguezais (mangues frontais ou mangues de estuários)
- 5 — Praias mistas de cascalho e areia, ou conchas e fragmentos de corais; terraço ou plataforma de abrasão de superfícies irregulares ou recobertas de vegetação; Recifes areníticos em franja
- 6 — Praias de cascalho (seixos e calhaus); costa de detritos calcários; depósito de tálus; enrocamentos (RIP-RAP, guia corrente, quebra-mar) expostos; plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)

### Recursos Biológicos

- Aves**
- Área de Concentração
  - Aves terrestres não passeriformes
  - Aves limícolas
  - Aves terrestres passeriformes
  - Aves marinhas costeiras
  - Aves de rapina
  - Aves aquáticas continentais - garças, flamingos, biguás, colhereiro, etc

### Mamíferos aquáticos

- Golfinhos

### Répteis

- Jacarés

### Peixes

- Peixes

### Multigrupos

- Área de Concentração

### Mamíferos terrestres

- Outros mamíferos terrestres
- Mamíferos terrestres

### Invertebrados

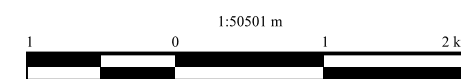
- Outros invertebrados
- Bivalves
- Camarões
- Siris e Caranguejos
- Gastrópodes

### Recursos Sócio-Econômicos

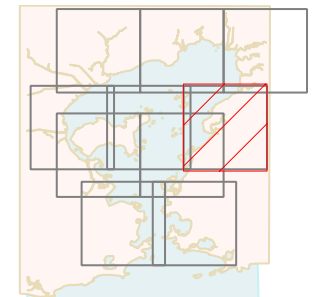
- Multigrupo
- Comércio
- Colônia de pescadores
- Casas residenciais/veraneio
- Depósito área de concentração de equipamentos
- Instalações militares
- Instalações industriais/estaleiros
- Local histórico
- Pesca artesanal
- Pesca esportiva
- Pier
- Praia recreacional
- Rampa para barcos

### Temas Básicos

- Estradas e Vias Principais
- Outros
- Hidrografia
- APA
- Continente
- Oceano



Convergência Meridiana para o centro da folha  
γ = 5° 32' 55"



Este documento é de propriedade da Petróleo Brasileiro S.A., e não pode ser reproduzido ou usado para qualquer finalidade diferente daquela para a qual está sendo fornecido

**Petrobras/Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello - CENPES TecGraf/PUC-Rio**

Mapa de Sensibilidade Ambiental - Baía de Guanabara

Escala: 1:50501	Datum: SAD69	Projeção: UTM	Meridiano: -45.0
Número: Praia da Luz			Data: 26-10-2009

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)