

## **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<sup>1</sup>

Luiz Landau<sup>1</sup>

Fernando Pellon de Miranda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE - LabSAR  
Caixa Postal 68.552 - CEP 21941-972 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
adriano@labsar.coppe.ufrj.br / landau@lamce.coppe.ufrj.br

<sup>2</sup> Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello - CENPES  
Av. Horácio Macedo, 950, Ilha do Fundão - CEP 21941-915 Rio de Janeiro - RJ  
fmiranda@petrobras.com.br

**Abstract.** The geographic location of the Petrochemical Complex of Rio de Janeiro (COMPERJ), present under construction by Petrobras, 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. Such an enterprise will introduce a new scenario to the Guapi-Mirim EPA in the coming years, since it will require constant environmental monitoring so as to portray the ecological evolution of the protection area. Therefore, the objective of this paper 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 in the investigated site. Two scenes of the IKONOS II sensor acquired on 2006 and 2008 were chosen for the study. The first scene is considered to depict land use conditions prevailing by the time COMPERJ construction was announced by Petrobras. The second image refers to the year the present research was initiated. Overall results reveal a regeneration stage for the mangrove ecosystem and a stagnation of the urban area growth within the limits of Guapi-Mirim EPA.

**Palavras-chave:** remote sensing, change detection, high spatial resolution image, mangrove, sensoriamento remoto, detecção de mudanças, imagem alta resolução espacial, manguezal.

### **1. Introdução**

A Petrobras implantará no município de Itaboraí, Estado do Rio de Janeiro, a maior refinaria de óleo pesado do país, o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ). Por esta razão, este município e seus arredores experimentam hoje uma transformação paisagística considerável durante a fase 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 (Figura 1) proporcionará uma dinâmica de atividades econômicas ligadas à indústria do petróleo no entorno da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapi-Mirim, a qual preserva o último remanescente do 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. 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).

Araújo e Maciel (1979) classificaram 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.

O objetivo geral do presente 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. A data da primeira cena justifica-se pelo cenário e condições de uso do solo em que a Petrobras encontrou na APA de Guapi-Mirim ao anunciar oficialmente a construção de sua nova refinaria em Itaboraí. A segunda imagem é referente ao ano em que iniciou-se estudos abordados neste trabalho.

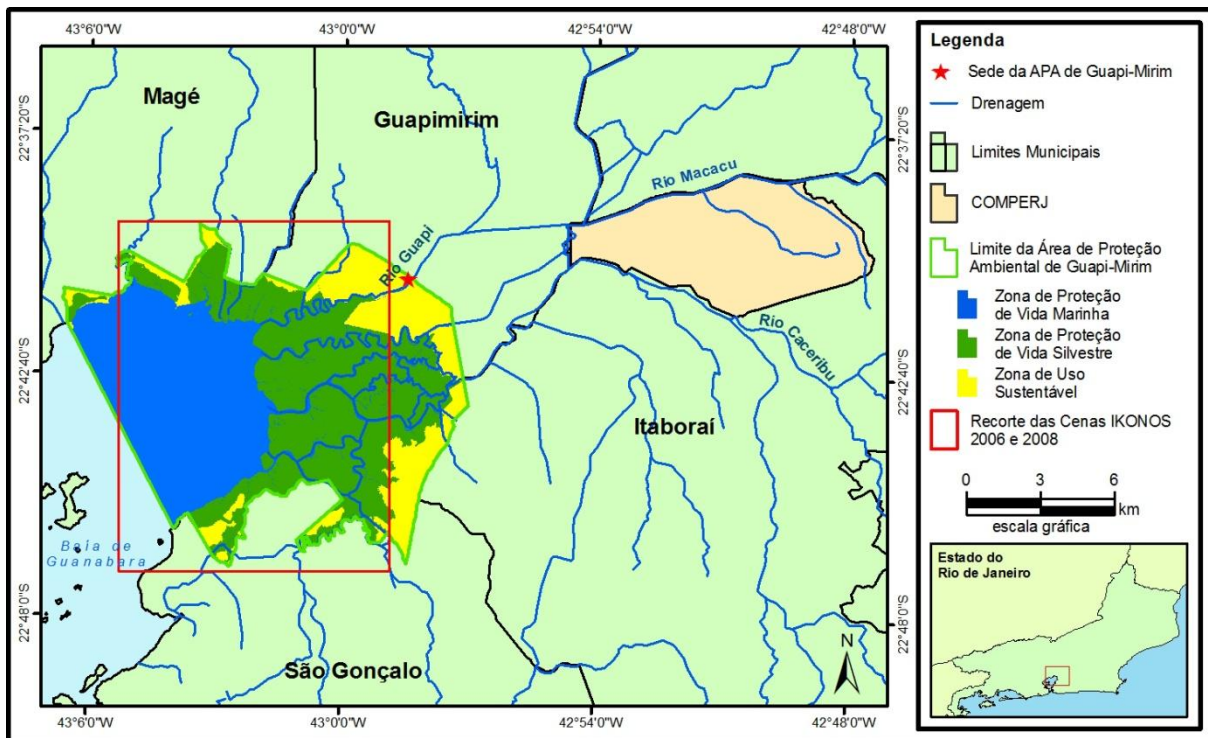


Figura 1 – Área de Estudo na APA de Guapi-Mirim e sua proximidade com o COMPERJ.

A APA de Guapi-Mirim é dividida em três zonas, as quais possuem características de uso e conservação específicas (Figura 1). Na Zona de Proteção da Vida Silvestre, as atividades antrópicas são bem restritas, o que permite a observação da expansão natural das espécies vegetais 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. A Zona de Proteção de Vida Marinha corresponde à massa de águas da Baía de Guanabara à frente dos manguezais e está sujeita a assoreamento devido a carga de sedimentos carregados pelos principais rios que drenam a APA de Guapi-Mirim.

## 2. Metodologia de Trabalho

### 2.1 Segmentação Multi-Resolução

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).

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.

De acordo com Baatz e Schäpe (2000), a segmentação da imagem envolve o valor do pixel e de seus vizinhos, obedecendo os critérios de cor ( $h_{color}$ ) e forma ( $h_{shape}$ ). Estes critérios são utilizados para criar objetos na imagem tendo em vista a homogeneidade relativa dos pixels, com base na chamada função de segmentação ( $S_f$ ) (Equação 1):

$$S_f = w_{color} \cdot h_{color} + (1 - w_{color}) \cdot h_{shape} \quad (1)$$

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 calculado pelo somatório do desvio padrão dos valores espectrais de cada banda ( $\sigma_k$ ) multiplicada pelo peso da respectiva banda ( $w_k$ ), como mostra a Equação 2, onde  $m$  é o número de bandas espectrais:

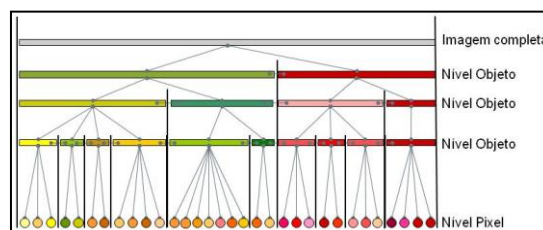
$$h = \sum_{k=1}^m w_k \cdot \sigma_k \quad (2)$$

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 ( $n$ ) (Equação 3). A suavidade ( $smooth$ ) é definida como a razão entre o perímetro do objeto ( $l$ ) e o perímetro do retângulo envolvente mínimo ( $b$ ) (Equação 4).

$$cpt = \frac{l}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

$$smooth = \frac{l}{b} \quad (4)$$

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), como mostra a Figura 2.

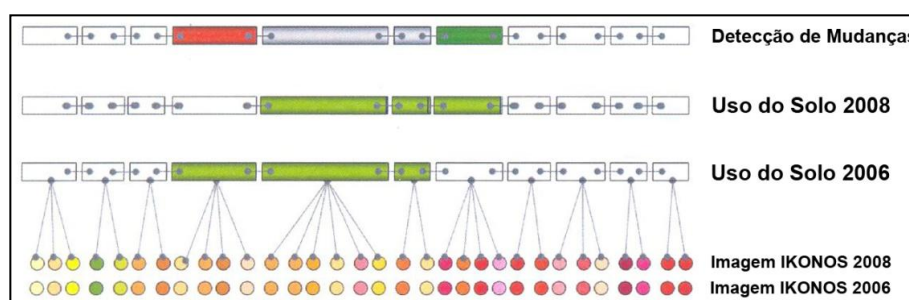


**Figura 2 - Princípio da rede hierárquica de objetos extraída a partir de pixels da imagem (Definiens, 2003)**

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). Os atributos de objetos mais utilizados são os espectrais (valores das bandas), forma e textura.

## 2.2 Detecção de Mudança

O conceito de detecção de mudanças multitemporais baseado em classificação orientada a objeto pode ser visualizado na Figura 3. 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).



**Figura 3 - Hierarquia dos objetos para detecção de mudanças (Definiens, 2007).**

As características de cada imagem IKONOS adquiridas para o presente estudo podem ser observadas na Tabela 1. 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 do tipo de cobertura do solo para APA de Guapi-Mirim. 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, é pertinente a utilização dos limites de cada zona (Figura 1) como uma classe de nível hierárquico superior.

**Tabela 1 - Características das Imagens IKONOS adquiridas**

Característica	Ikonos 2006	Ikonos 2008
Data	23/mar/2006 (13h08min)	10/jun/2008 (13h14min)
Bandas	Red/Green/Blue/NIR	Red/Green/Blue/NIR
Resolução Espacial	1 metro	1 metro
Altura da Maré	-5 cm	+15 cm

A Figura 4 exhibe os objetos relevantes no monitoramento do uso e cobertura do solo da APA de Guapi-Mirim identificados em cada nível de segmentação, conforme Vasconcelos, 2009. Esta estrutura 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. Para cada um dos níveis de segmentação, foram coletadas amostras de objetos representáveis numérica e espacialmente nos dados Ikonos. Observa-se que a classe Mangue em Regeneração ocorre tanto no nível de segmentação 2 quanto no nível de segmentação 3. Isto ocorre porque sua manifestação extrapola os limites da

Zona de Proteção de Vida Silvestre, sucedendo também para a Zona de Uso Sustentável. No entanto, a semântica desta classe é a mesma em ambas as zonas.

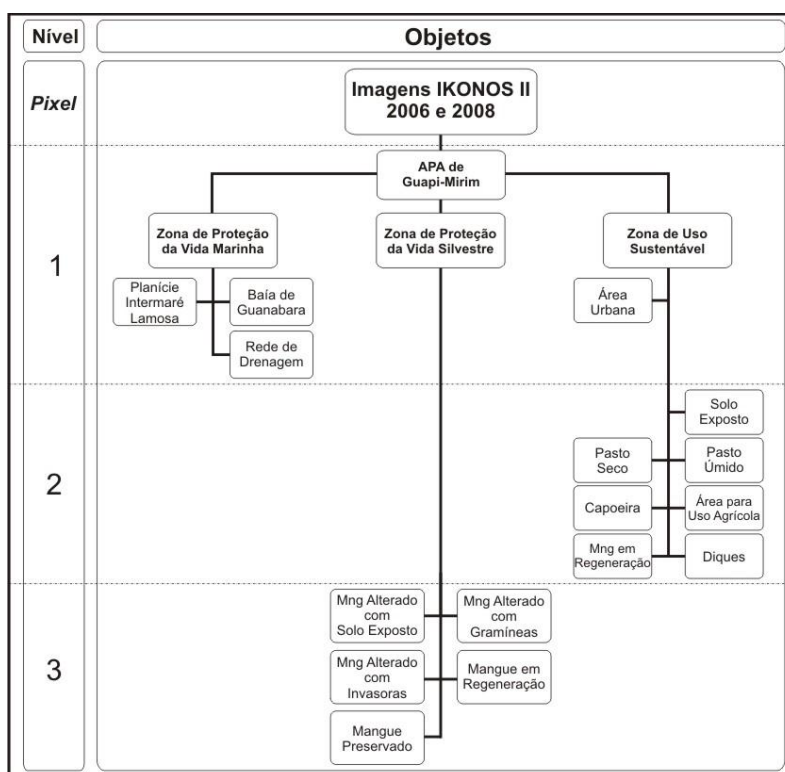


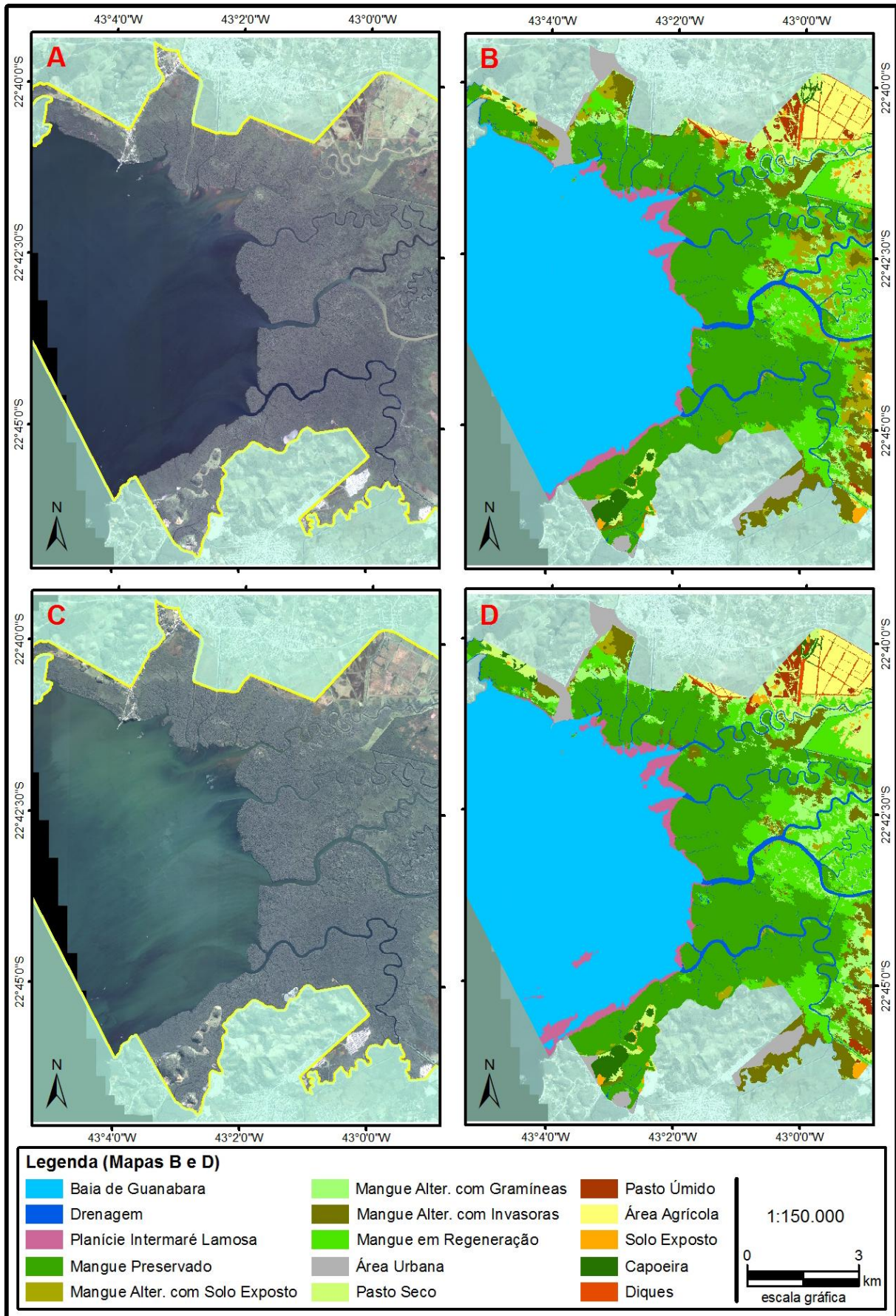
Figura 4 - Objetos identificados em cada nível de execução da segmentação (Vasconcelos, 2009).

### 3. Resultados e Discussão

Para classificar a imagem IKONOS 2006, dezenas de descritores como cor, forma, contexto e textura foram testados e ainda outros foram criados. Dentre estes, o RVI (*Ratio Vegetation Index*) e o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*).

A classificação da imagem IKONOS adquirida em 2008 seguiu os mesmos procedimentos utilizados para os dados de 2006. Entretanto, o intervalo dinâmico dos valores de cada descritor da imagem IKONOS de 2008 pode diferir daquele empregado nos dados de 2006. Isso ocorre porque o estado físico dos objetos em análise se encontra em constante modificação, seja pelo crescimento vertical da vegetação ou pela expansão em superfície da cobertura vegetal, seja por diferenças das propriedades das imagens IKONOS. A Figura 5 mostra o resultado da classificação sobre as imagens IKONOS de 2006 e 2008.

A Tabela 2 mostra a área de cada classe para cada ano e o saldo resultante no cenário encontrado em 2008 em relação a 2006. A classe Mangue Alterado com Gramíneas registrou um aumento em torno de 65%, enquanto que a classe Mangue Alterado com Solo Exposto assinalou uma perda de aproximadamente 81%, isso indica que grande parte do solo exposto foi colonizado por gramíneas, seguindo assim o estágio natural da regeneração do mangue. Outra classe que merece destaque é Mangue em Regeneração dentro da Zona de Proteção da Vida Silvestre, a qual passou de 913 ha para 1444 ha de representatividade em 2008. A classe Mangue Preservado obteve um pequeno aumento em sua área de ocorrência (0,14%). A classe Solo Exposto sofreu a maior redução dentro da Zona de Uso Sustentável, com uma perda de aproximadamente 26%, ao passo que a classe Pasto Úmido apresentou maior expansão, alcançando quase 17%. A classe Área Urbana permaneceu estável.



**Figura 5 – Imagem IKONOS 2006 (A) e sua Classificação Orientada a Objeto (B); Imagem IKONOS 2008 (C) e sua Classificação Orientada a Objeto (D) (Vasconcelos, 2009).**

**Tabela 2 – Área de cada classe por ano (Vasconcelos, 2009)**

Zona	Classe	Classificação 2006	Classificação 2008	Acréscimo / Redução (%)
		Área (ha)	Área (ha)	
ZPVM	Baía de Guanabara	4176,56	4126,36	-1,20
	Drenagem	300,85	301,77	0,31
	Plan. Intermaré Lamosa	214,89	264,94	23,29
ZPVS	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
ZUS	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>	-----

ZPVM (Zona de Proteção Vida Marinha); ZPVS (Zona de Proteção Vida Silvestre); ZUS (Zona de Uso Sustentável)

Na Zona de Proteção da Vida Marinha, a mudança mais significativa foi a transição da classe Baía de Guanabara para Planície Intermaré Lamosa. Esse fenômeno não foi resultante da influência da maré, considerando que a imagem de 2008 foi registrada com a maré alta. Portanto, esta alteração sugere que há um processo de deposição de sedimentos muito intenso nos estuários dos rios que drenam a APA de Guapi-Mirim.

#### 4. Conclusões

A análise multitemporal serviu para entender a evolução do estado de conservação dos objetos em estudo no período 2006-2008. 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 na foz dos principais rios que drenam a APA, as quais podem se consolidar e proporcionar condições para a expansão da floresta de mangue em direção à Baía de Guanabara. Este processo é fomentado pela carga de sedimentos carreados 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 a classe Mangue em Regeneração, que exibiu, de fato, um aumento de sua área. No entanto, os valores apresentados neste trabalho podem estar superestimados, visto que o comportamento espectral das classes Mangue em Regeneração e Mangue Alterado com Invasoras é similar o que torna mais complexa a busca pelo limiar de valores para discriminação destas classes. O estágio de sucessão de Mangue Alterado com

Solo Exposto para Mangue Alterado com Gramíneas 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 da distribuição em superfície do uso do solo por intervenção antrópica. A classe que sofreu maior perda em área foi Solo Exposto. Considerou-se tal perda como natural, pois foi sucedida pela vegetação rasteira caracterizada como Pasto. A área da classe Área Urbana permaneceu a mesma entre os anos 2006 e 2008.

## 5. Agradecimentos

À Agência Nacional do Petróleo (ANP) pelo apoio financeiro prestado na forma de bolsa e custos de diária de campo. Ao IBAMA por meio da administração da APA de Guapi-Mirim por pesquisa de campo em áreas restritas desta Unidade de Conservação.

## 6. Referências Bibliográficas

Araújo, D.S.D.; Maciel, N.C. **Os Manguezais do Recôncavo da Guanabara**. Rio de Janeiro: FEEMA, 1979.

Baatz, M.; Schäpe, A. Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In AGIT-Symposium, Wichmann Verlag Heidelberg, pp. 12-23. 2000.

Definiens. **Ecognition User Guide 3**. München: Definiens Imaging, 2003.

Definiens. **User Guide - Definiens Developer 7**. München: Definiens Imaging, 2007.

Encarnação, S. A. A. Análise de Imagem Orientada a Objecto – Abordagem conceptual e experimentação a partir de imagens Quickbird. 2004. 185p. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território). Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 2004.

Estevam, E. A. Classificação de áreas de favelas a partir de imagens Ikonos: viabilidade de uso de uma abordagem orientada a objetos. 2006. 132p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP. 2006.

Pinho, C. M. D. 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. 2005. 180p. (INPE-14183-TDI/1095). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.

Schaeffer-Novelli, Y. **Manguezal: Ecossistema entre a Terra e o Mar**. São Paulo: Instituto Oceanográfico. Caribbean Ecological Research, Ed. USP. 1995. 64p.

Schiewe, J.; Tufte, L.; Ehlers, M. Potencial and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. In: GIS-Informationssysteme. v. 6. 2001, pp. 34-39.

Vasconcelos, A.O. 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. 152p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), COPPE, UFRJ. Rio de Janeiro, 2009.