

Classificação de bacias de drenagem com o suporte do sensoriamento remoto e geoprocessamento -o caso da Baía de Guanabara-

Alexandre José Almeida Teixeira¹
Carla Bernadete Madureira Cruz¹

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Brigadeiro Trompowski s/n Departamento de Geografia
alexandre@gisplan.com.br

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Brigadeiro Trompowski s/n Departamento de Geografia
cmad@domain.com.br

Abstract. This study presents a methodology for classification of watersheds using geographical information system (GIS) and remote sensing. The proposed classification was based on following watershed parameters: Vegetation Cover Coefficient (ICV), Topographic Factor (FT) and Index human Modification (ITA).

The Cv parameter was obtained by processing and digital classification of Landsat-7 Etm+ images using vegetation index. The FT parameter was calculated by morphometric analysis of digital topographic maps, generating a digital elevation model for basin 's Guanabara bay. Finally , the ITA, was constructed from the classification of the use and covering of the land, through the balance one attribute (numerical value) associated to each classroom, considering the modification degree that this classroom cause in the natural landscape.

Palavras-chave: remote sensing, geographical information system, watersheds, sensoriamento remoto, sistema de informação geográfica, bacia de drenagem.

1. Introdução

Na perspectiva da gestão de bacias, as ações de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço devem incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente, através do meio físico-biótico, da ocupação humana e do seu inter-relacionamento.

Na análise das bacias de drenagem, a incorporação de uma base de dados em um sistema de informações geográficas (SIG) ajuda a formulação da diagnose ambiental, tendo em vista a grande quantidade de informações trabalhadas e de dados gerados, otimizados pela automação dos sistemas atualmente disponíveis. Além disso, o conhecimento das características ambientais de uma área é auxiliado pela realização de consultas e análises espaciais com o uso do geoprocessamento, permitindo a identificação de impactos causados pelas diferentes atividades humanas.

O uso do geoprocessamento na gestão de bacias enfoca, principalmente, as operações de consulta e manipulação de dados geográficos. Tais funções utilizam os atributos espaciais e não espaciais dos objetos georreferenciados armazenados na base de dados, tendo como objetivo não apenas na espacialização, mas também na possibilidade de elaborar tendências e criar modelos sobre os fenômenos do mundo real.

A baía de Guanabara e sua bacia contribuinte são alvos de pesquisas com diferentes finalidades. Amador (1997) relata minuciosamente as características históricas da Baía de Guanabara e o seu entorno, além de analisar a influência das condições físicas e da ocupação humana nas margens da baía.

Mayr (1998) avalia a qualidade ambiental da baía através da mensuração das concentrações de variáveis hidrobiológicas, ou seja, de parâmetros físicos, químicos e biológicos presentes no corpo d'água para a década de 90, dentre os quais podem ser citadas a salinidade, a amônia, a clorofila, o oxigênio dissolvido e os coliformes fecais.

De forma geral, as informações obtidas nesse estudo vieram do Programa “Rede de Informações Geográficas para a Baía de Guanabara”, através do convênio entre os Grupos Espaço e Geocart do Departamento de Geografia da UFRJ e o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM), com o apoio do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA). Nesse projeto foram desenvolvidos diversos produtos, iniciados com a construção da base cartográfica e do pré-processamento digital de imagens até o armazenamento dos dados em um SIG e a geração de mapas temáticos para a bacia da baía. Dentre os produtos surgidos nesse projeto e que foram relevantes para o desenvolvimento desse estudo, destacam-se a classificação do uso e cobertura do solo e a classificação da cobertura vegetal.

Em 2001, a partir do convênio entre o Laboratório de Gestão Territorial (LAGET), o Grupo Espaço (ambos do Departamento de Geografia da UFRJ), o Instituto Terra de Preservação Ambiental e a FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente) foi elaborado o Zoneamento Ambiental para o Plano de Gestão Costeira da Baía de Guanabara. Tal projeto procurou oferecer uma visão dinâmica das condições naturais e sociais da área. A proposta metodológica adotada foi definida a partir de três diferentes escalas de análise, com diferentes níveis de detalhamento e profundidade no tratamento das informações. Esses três níveis foram: Uma **concepção estratégica** enfocando a dinâmica dos assentamentos humanos no entorno da Baía, com abrangência para toda sua bacia, na escala 1:100.000; uma **concepção logística** da área imediata, detalhando as bacias contribuintes para o limite do plano de gestão da baía, definida na escala 1:50.000; e uma **concepção tática** da área de ação prioritária e de monitoramento permanente, limitada ao entorno imediato, na escala 1:25.000. Essas concepções serviram como referência para este estudo, que considerou a abordagem de três diferentes escalas de análise.

2. Justificativa e objetivos

Nesse trabalho, partiu-se do pressuposto de que é possível associar dados morfométricos a dados espectrais do sensor ETM+ do Landsat-7 relativos à densidade de cobertura vegetal e uso e ocupação do solo e, dessa forma, hierarquizar o potencial de escoamento superficial em bacias de drenagem. Em razão da dependência espacial observada entre esses parâmetros, acreditamos que a forma mais adequada de integrá-los é por meio de funções de processamento de dados espaciais existentes nos sistemas de informações geográficas (SIG).

A proposição de um estudo dessa natureza justifica-se pela complementação de informações que podem auxiliar na gestão de bacias, com a integração de dados hidrológicos, podendo disponibilizar uma metodologia alternativa para áreas com precariedade de informações hidrológicas, principalmente micro-bacias localizadas nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do território brasileiro.

O objetivo geral desse estudo é a classificação das bacias de drenagem da Baía de Guanabara, com suporte do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, de modo a identificar o nível de degradação ambiental da área e servir de base para o planejamento e gestão ambiental.

Especificamente, esse estudo objetiva:

- O estudo e a avaliação de divisões de bacias adequadas ao planejamento e gestão ambiental da área, através de diferentes escalas de análise;
- A determinação numérica da pressão antropogênica sobre os recursos do meio físico, com a aplicação, através do uso de imagem de sensoriamento remoto, do índice de transformação antrópica (ITA), baseado na classificação digital quanto ao uso da terra para toda bacia hidrográfica da baía, proposto por Lèmechev (1982, *apud*. Mateo, 1991);

- A geração do Índice de Transformação Antrópica para as unidades de conservação inseridas na bacia da baía, assim como para o entorno definido por uma faixa de dois quilômetros, com a finalidade de verificar as pressões internas e externas das unidades;
- A avaliação quantitativa da cobertura vegetal, usando técnicas de processamento de imagens orbitais, a partir da razão entre as bandas do visível-vermelho e infra-vermelho próximo;
- A análise morfométrica das bacias de drenagem através da geração de um indicador denominado Fator Topográfico;
- A comparação entre os valores usados na construção do Fator Topográfico considerando valores de área real do terreno e de área projetada em uma superfície plana (mapa);
- A criação de um banco de dados geográficos para a bacia hidrográfica da Baía de Guanabara, possibilitando a análise espacial dos indicadores que serão estudados;
- A geração de cenários ambientais que apresentem a classificação das sub-bacias que compõem a área.

3. Área de estudo

A Baía de Guanabara representa um dos mais importantes espaços geográficos do Estado do Rio de Janeiro, tanto do ponto de vista socioeconômico quanto físico. Essas características são comprovadas pela forte pressão antrópica desordenada, localizada no seu entorno, seja pela concentração populacional na região metropolitana do Rio de Janeiro (responsável pela enorme descarga de esgoto doméstico) ou pela presença de grandes indústrias (como a refinaria Duque de Caxias) que lançam sobre ela grandes quantidades de resíduos químicos.

A bacia da Baía de Guanabara está localizada entre os paralelos de 22° 24' e 22° 57' de latitude sul e os meridianos de 42° 33' e 43° 19' de longitude oeste.

A Baía de Guanabara representa um dos mais importantes espaços geográficos do Estado do Rio de Janeiro, tanto do ponto de vista socioeconômico quanto físico. Essas características são comprovadas pela forte pressão antrópica desordenada, localizada no seu entorno, seja pela concentração populacional na região metropolitana do Rio de Janeiro (responsável pela enorme descarga de esgoto doméstico) ou pela presença de grandes indústrias (como a refinaria Duque de Caxias) que lançam sobre ela grandes quantidades de resíduos químicos. A Baía de Guanabara tem uma superfície de 384 Km², um volume médio de 1.87 x 10⁹ m³ e um perímetro de 131 km (FEEMA, 1983). O aporte de sedimentos tem crescido de forma substancial devido ao desmatamento e a retificação dos canais. Somam-se, ainda os acidentes ambientais com vazamento de óleo, que ocorrem com certa frequência nas refinarias, portos comerciais, estaleiros e postos de combustíveis. Pode-se citar como exemplo o vazamento de 1.3 milhão de litros de óleo na Baía, em janeiro de 2000, causando grandes danos aos ecossistemas locais e à população em geral. Os aterros no entorno da baía também se tornaram constantes nos últimos anos. Barros (2002) cita o aterro que formou a Ilha do Fundão, produto da união artificial de nove ilhas entre 1942 e a década de 1970, que influenciou negativamente a porção centro-oeste da baía, pois dificultou a circulação das águas de uma área que já era estrangulada e que recebe uma grande quantidade de dejetos vindos, principalmente, dos rios Faria-Timbó. Além dos aterros e dos vazamentos de óleo, a Baía de Guanabara apresenta outros fatores que contribuem para o prejuízo de sua qualidade ambiental, tais como o lançamento de esgoto doméstico e produtos químicos; o despejo de lixo; e a aceleração do processo de assoreamento.

A **tabela 1**, abaixo, resume os principais agentes poluidores e cita algumas causas da degradação da Baía de Guanabara.

Agentes	Fontes/Causas
Esgoto Doméstico: 470 ton/dia	- Ausência de rede coletora convencional; - Ligações clandestinas nas galerias; - Ausência de Estações de Tratamento e precariedade das já instaladas.
Indústrias: lançamento de diversos produtos químicos	- 14 mil indústrias, a maioria de pequeno e médio porte. Apenas 52 são responsáveis por 80% da carga poluidora.
Óleo: 6.9 ton /dia	- Refinarias, terminais, estaleiros.
Lixo flutuante	- Despejo de lixo em rios; - Ausência de projetos de reciclagem.
Entulhamento	- Impermeabilização do solo; - Alargamento e aprofundamento dos rios; - Uso agrícola inadequado.

Tabela 1: Agentes e causas da degradação da Baía de Guanabara (modificado de FEEMA, 2002).

4. Metodologia

A metodologia se concentrou na geração das bases necessárias para o cálculo dos indicadores a serem usados na classificação das bacias: o Índice de Transformação Antrópica (ITA), Índice de Cobertura Vegetal (ICV), o Fator Topográfico (FT).

O desenvolvimento das atividades foi efetuado em três fases: a preparação da base cartográfica, o processamento digital de imagens de sensoriamento remoto (que permitiu a geração do índice de Cobertura Vegetal e o Índice de Transformação Antrópica) e a construção do Fator Topográfico.

4.1. Preparação da base cartográfica

O primeiro passo foi a definição da área de interesse com abrangência de toda a bacia de drenagem da Baía de Guanabara. Para a elaboração da base cartográfica, foram utilizadas como base a Carta do Brasil na escala 1:50000.

Depois de limitar a área de estudo, foram definidas as categorias utilizadas para a construção do banco de dados e para a geração das cartas-imagem: hidrografia, hipsografia, sistema viário, localidades, obras e edificações e limites, sendo que as duas primeiras ainda foram utilizadas na geração do modelo numérico de terreno.

4.2. Análise em micro e macro escala

Os resultados foram gerados, considerando três escalas de análise. A primeira e a mais discutida nesse estudo, é através do recorte de bacias, onde foram integrados os dados que permitiram a identificação das áreas que apresentam condições mais críticas, de acordo com os parâmetros abordados: cobertura vegetal, uso e cobertura do solo e o Fator Topográfico.

Na segunda escala de análise, com a visualização em macro-escala, dividiram-se as bacias em 3 setores: setentrional, oriental e ocidental (**figura 1**). Essa divisão foi elaborada no Plano de Gestão Costeira da Baía de Guanabara, organizado pela FEEMA (2002), tendo como objetivo o zoneamento ambiental da Baía de Guanabara. De acordo com o plano, a setorização da Baía de Guanabara, com vistas à formulação de uma concepção estratégica acerca de suas tendências futuras, aponta para a existência de três setores diferenciados e articulados: a Orla Oriental, a Orla Ocidental, e a Orla Setentrional. Foram consideradas dentro da parte leste, as bacias de Niterói, Guaxindiba e Caceribu; para o setor oeste, as bacias

do Rio de Janeiro, São João de Meriti e Iguaçu; enquanto o setor norte foi delimitado pelas bacias do rio Estrela, Suruí, Iriri e Roncador.

O objetivo dessa escala de análise é, a partir dos dados levantados e analisados nesse estudo e da delimitação em uma escala menor, oferecer subsídios para uma concepção estratégica no entorno da baía, para a execução de planos regionais.

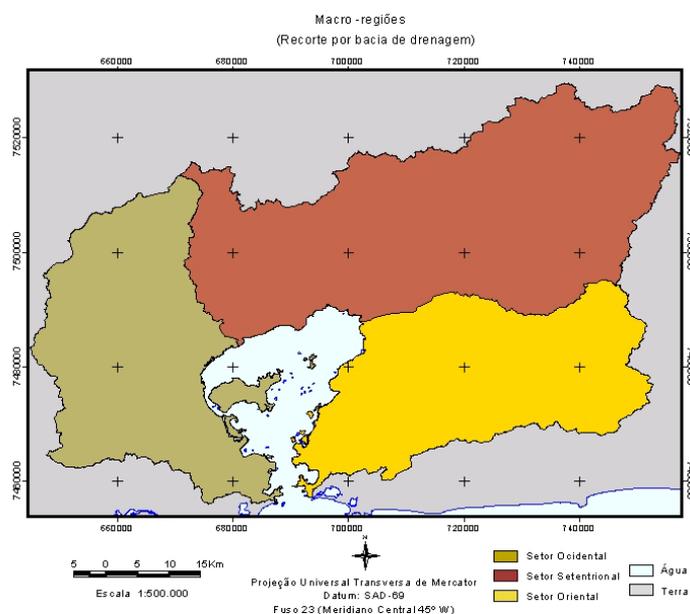


Figura 1: Setores da bacia da Baía de Guanabara.

A terceira escala de análise representa com mais detalhes as diferenças existentes na bacia do rio Iguaçu (**figura 2**). A base obtida da JICA (*Japan International Cooperation Agency*) permitiu a divisão da bacia do Rio Iguaçu em oito fragmentos, divididos de acordo com o curso dos rios principais, como o próprio rio Iguaçu (alto, médio e baixo curso), rio Sarapuí, rio da Bota, rio Tinguá e o rio Capivari. A base da JICA apresenta um recorte espacial mais detalhado das bacias, delimitando as áreas de alto, médio e baixo curso das principais bacias.

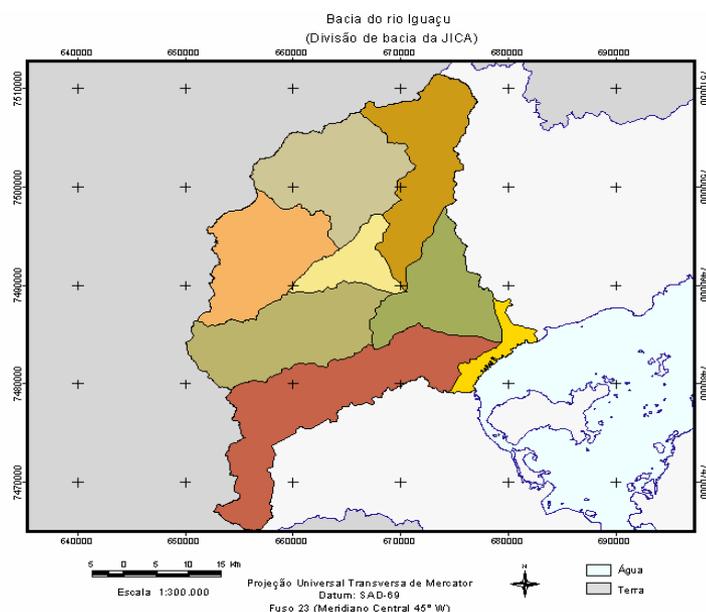


Figura 2: Bacia do rio Iguaçu.

4.3. Uso de imagens orbitais

As operações para análise espacial da área de estudo, bem como a elaboração dos mapas temáticos, foram realizadas a partir de imagens e cenas obtidas por sensoriamento remoto, provenientes do sensor Landsat 7-ETM+, obtidas em 28/02/2000 que considerou as seguintes etapas: processamento digital de imagens, atualização da linha de costa, classificação do uso e cobertura e o cálculo do índice de vegetação (NDVI).

O objetivo do processamento digital de imagens é fornecer material para a identificação e a extração da informação, minimizando distorções criadas nos processos de aquisição, transmissão e visualização das imagens. Para isso, foram realizadas uma série de funções, tais como: georreferenciamento, realce, segmentação e classificação.

Inicialmente, foi realizada uma pré-classificação para se ter uma idéia da distribuição das classes ao longo da bacia. Foi utilizado o classificador da distância de Battacharya do SPRING. Foram selecionadas áreas de treinamento para identificar as regiões derivadas da segmentação, atribuindo-as a diferentes classes temáticas, pré-definidas.

Gerada essa pré-classificação, foram verificadas as áreas de confusão e de dúvidas e realizadas campanhas de campo com o objetivo de comprovar a realidade terrestre, e organizar, de forma mais eficaz, as classes que realmente iriam permanecer ou mudar na legenda do mapa de uso e cobertura da terra. Quantificou-se em valores absolutos (m²) e relativos (%), as principais classes de uso e cobertura do solo para a bacia hidrográfica da Baía de Guanabara (armazenados em banco de dados). Estes valores possibilitaram a construção de um índice de pressão antrópica (ITA) para cada bacia, a partir da definição de pesos para cada classe. O mesmo foi realizado para as unidades de conservação estaduais e federais e seu entorno imediato (faixa de contato de 1 a 2 km); e também para as macro-regiões da bacia da baía.

O índice de vegetação utilizado nesse estudo é a diferença normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*), que relaciona as bandas do vermelho e do infravermelho através da fórmula:

$$NDVI = (\rho_{INV} - \rho_{VER}) / (\rho_{INV} + \rho_{VER})$$

Onde:

ρ_{INV} = reflectância do pixel na faixa do infravermelho.

ρ_{VER} = reflectância do pixel na faixa do vermelho.

Como foi utilizada imagem do Landsat 7 ETM+, foram selecionadas as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho) no ambiente IDRISI 3.2, que possui um módulo próprio para a geração de imagens de NDVI, assim com uma tabela de cores apropriada para a visualização da variação do NDVI.

4.4. Construção dos indicadores

O Índice de cobertura vegetal (ICV) é uma aplicação do NDVI para mensurar o grau de densidade de biomassa de acordo com um determinado recorte espacial, no caso as bacias da baía. Sua importância está em identificar as áreas com as melhores condições e as mais críticas do ponto de vista da quantidade de biomassa presente.

O cálculo do ICV é realizado a partir da equação:

$$I_{CVj} = \sum_{i=1}^n m_i s_{ij}$$

Onde:

m_i é a média da classe; S_{ij} o percentual em área ocupada pela classe i na bacia j ; e n a quantidade máxima de classes do NDVI (16 classes).

Os valores do ICV podem variar de -1 (ausência de vegetação) até 1 (grande quantidade de biomassa verde).

A elaboração do mapa de uso e cobertura da terra permite o cálculo de índices que quantifiquem variáveis relacionadas às proporções em área de diferentes classes. Um destes indicadores de singular importância é o Índice de Transformação Antrópica (ITA), que permite fazer um diagnóstico comparativo do grau de transformação em que se encontram as bacias hidrográficas da Baía.

O índice é expresso na equação (Lémechev, 1982, in Mateo, 1991):
$$I_{TAj} = \sum_{i=1}^n r_i S_{ij}$$

Onde:

r_i é o grau de transformação antrópica da paisagem, relacionado ao tipo de uso, ponderado num intervalo de valores de 1 a 10; S_{ij} o percentual em área ocupada pelo tipo de uso i na bacia j e n a quantidade máxima de classes de uso da terra; e n é a quantidade máxima de tipos de uso e cobertura da terra.

Os valores do ITA podem variar de 1 (áreas onde o grau de antropização é baixo) até 10 (locais de grande transformação antrópica).

O fator topográfico (Ft) procura analisar as relações entre os parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas, usando parâmetros hipsométricos e hidrológicos, com a finalidade de verificar a capacidade de escoamento superficial de uma bacia. O seu cálculo é realizado através da fórmula:

$$Ft = Rh \cdot F1 \cdot C$$

Onde:

Rh = Gradiente do relevo

F1 = frequência dos canais de 1ª ordem

C = índice de circularidade da bacia

5. Resultados

Os resultados analisados são concernentes ao Índice de Cobertura Vegetal (ICV), ao Índice de Transformação Antrópica (ITA) e ao Fator Topográfico (FT), em três diferentes escalas. Na primeira, em uma escala mais abrangente, as bacias foram divididas em três setores principais, de acordo com suas posições em relação à baía (oriental, ocidental e setentrional). A segunda escala considerou o recorte de bacias definidas pelo canal principal, totalizando 13 bacias de drenagem que contribuem para o espelho d'água da Baía. Na última escala de análise procurou-se verificar as diferenciações internas de uma bacia, usando como exemplo a bacia do Rio Iguazu, uma das maiores da bacia da baía.

Em todos os casos, gerou-se mapas síntese ressaltando as condições críticas para cada área, através dos três indicadores. A análise quanto a essas condições foi direcionada pela disponibilidade hídrica, considerando a relação entre os valores dos indicadores estudados e os efeitos dos fluxos de água no ambiente e para a população. Tais efeitos podem ser sentidos quando os recursos hídricos são influenciados devido ao uso para o suprimento das demandas dos núcleos urbanos, das indústrias, da agricultura e das alterações do solo, urbano e rural.

Através da classificação quanto ao uso e cobertura do solo, atendeu-se ao objetivo de identificar as pressões internas e externas sobre as unidades de conservação existentes na área, através do ITA. Para o caso das pressões externas adotou-se como limite um entrono de dois quilômetros. Os resultados identificam as unidades de conservação onde as atividades humanas exercem maior influência e aquelas que ainda apresentam um certo grau de preservação em sua volta.

No final, foram comparadas as superfícies real e projetada de duas bacias, que apresentavam características topográficas distintas, com o objetivo de analisar o grau das depreciações encontradas nas medidas morfométricas

6. Conclusões e recomendações

Os dados obtidos para a construção dos indicadores foram bastante satisfatórios, permitindo gerar uma boa classificação para a bacia da Baía de Guanabara. Um fato novo proposto nesse modelo de classificação de bacias é a consideração do uso e cobertura do solo como parâmetro para diferenciar as bacias, de acordo com a pressão que as atividades humanas exercem sobre a paisagem natural. Em uma área importante como é a região metropolitana do Rio de Janeiro, onde constantemente ocorrem mudanças significativas na utilização do solo, a possibilidade de trabalhar esse componente é um fator importante. Esse fato não é válido somente para grandes aglomerados populacionais, como é o caso do Rio de Janeiro, pois na geração do ITA também há a consideração das mudanças em áreas agrícolas, onde a pastagem e as áreas de cultivo exercem uma influência bastante grande.

A recomendação desse estudo fica para a consideração dos tipos de solos para um modelo de classificação de bacias, a fim de aprimorar a análise da capacidade de infiltração de água no solo, um dos parâmetros mais importantes para a caracterização hidrológica das mesmas.

Referências

- Amador, E. **Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza**. Rio de Janeiro. 1997 539 p.
- Barros, R. **Estimativa de Parâmetros Físico-Químicos da Água com o Suporte do Sensoriamento Remoto - Estudo de Caso: Baía de Guanabara**. 2002. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geografia - UFRJ. Rio de Janeiro
- FEEMA (1983) **Bacia da baía de Guanabara**. Governo do Estado do Rio de Janeiro.
- FEEMA (2002) **Zoneamento Ambiental da Baía de Guanabara. Plano de Gestão Costeira da Baía de Guanabara**. Governo do Estado do Rio de Janeiro.
- Mateo, J. **Geoecologia de los Paisajes**. Universidad Central de Caracas. 1991.
- Mayr, L. M. (1998) **Avaliação Ambiental da Baía de Guanabara com o Suporte do Geoprocessamento**. Tese de Doutorado. Departamento de Geografia-UFRJ. Rio de Janeiro.