

## **Análise multitemporal de imagens Landsat para monitoramento de áreas de manguezal: subsídio à gestão costeira do litoral sul do Estado de São Paulo**

Marília Cunha-Lignon<sup>1</sup>  
Milton Kampel<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE  
Divisão de Sensoriamento Remoto  
12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{marilia, milton}@dsr.inpe.br

### **Abstract**

The increasing anthropogenic pressure on coastal wetlands results in impacts that affect mangrove forest and their biodiversity. The Cananéia-Iguape Coastal System is considered the most conserved coastal zone in São Paulo state. Despite this, an artificial channel carries about 60 % of freshwater from the Ribeira River to the coastal system resulting in a direct influence on the flora composition and sediment dynamics in the Iguape region. This paper aims to develop mangrove forests multi-temporal analysis, using 1997 and 2010 images, in Iguape region, South coast of São Paulo state, to assist the local coastal management. Digital processing techniques, including segmentation by region growing, and Battacharya supervised classification were applied to TM/Landsat5, using SPRING GIS, version 5.1.6. The map, from 1997, indicated the total mangrove area with 827 ha and aquatic macrophytes with 226 ha. Macrophytes were absent into the coastal system, in 1997. The results from 2010 showed an increase of 125ha of mangrove areas and the occurrence of macrophytes into the coastal system, totalizing respectively 952 ha and 329 ha. Between 1997 and 2010, variations in the coastal system salinity caused changes in the areas suitable for mangrove forests habitat. However, the increase in mangrove area can mask the degradation of the site. This process is named 'cryptic ecological degradation'. These changes must be carefully monitored to ensure biological and socioeconomic sustainability. This study can be used as a base for monitoring and management mangroves areas in the Cananéia-Iguape Coastal System.

**Palavras-chave:** mangrove, mapping, conservation, Landsat TM5, sensoriamento remoto, zoneamento ecológico econômico.

### **1. Introdução**

Em levantamento recente, utilizando-se imagens LandsatTM, classificações supervisionadas e não-supervisionadas, além de dados de campo, Giri et al. (2010), afirmam que o Brasil possui 7 % da área total dos manguezais no planeta, resultando em 962.683 m<sup>2</sup>. Em torno de 60 % da área total dos manguezais encontra-se em apenas 10 países. Indonésia, Austrália, Brasil, Nigéria e México apresentam cerca de 47 % da área global dos manguezais no planeta (FAO, 2007). Na América do Sul, oito países possuem manguezais, totalizando 2 milhões de hectares de área, aproximadamente. Dentre eles, Brasil, Colômbia, Venezuela e Suriname possuem cerca de 90 % de área de manguezal nesse trecho do continente, sendo que 50 % localizam-se em território brasileiro (FAO, op. cit.).

O litoral do Estado de São Paulo é marcado pela estrutura cristalina da Serra do Mar, planícies costeiras, sistemas de laguna e barreiras, enseadas e baías, onde se desenvolvem manguezais. As regiões com maior ocorrência de manguezais são Baixada Santista e Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, no Estado de São Paulo.

Segundo o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro do Estado de São Paulo (São Paulo, 1998), o litoral desse estado, com 622km de extensão, foi setorizado em quatro regiões: Litoral Norte; Baixada Santista; Complexo Estuarino-Lagunar de Iguape-Cananéia e Vale do Ribeira.

Nesse mesmo estado, estudos de caso apontam para perdas de área de manguezal no Litoral Norte e na Baixada Santista, enquanto que os manguezais do Litoral Sul apresentam-se como os mais conservados (Cunha-Lignon et al., 2009a). Apesar disso, Cunha-Lignon et al. (2010) apontam para ocorrência de clareiras em áreas de mangue na região de Iguape, resultante do aumento de macrófitas aquáticas invasoras nesse setor do sistema costeiro.

Mahiques et al. (2010) afirmam que a abertura do canal artificial Valo Grande, entre 1827 e 1852, causou mudanças drásticas na salinidade, nos padrões de sedimentação e no aporte de metais pesados para o Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, litoral sul do Estado de São Paulo.

Técnicas de sensoriamento remoto, SIG (Sistema de Informação Geográfica) e uso de GPS (*Global Positioning System*) fornecem informações que subsidiam comparações temporais com o estado atual de áreas naturais, possibilitando projeções de alterações ou de impactos para uma dada região, auxiliando na adoção de medidas mitigadoras com vistas ao gerenciamento costeiro (Dahdouh-Guebas, 2002).

### **1.1. Objetivos**

O presente estudo tem como objetivo realizar análise multitemporal de áreas de manguezal na região de Iguape, litoral sul do Estado de São Paulo (Brasil), como subsídio para gestão costeira.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Área de Estudo**

Situado entre as latitudes 24°40'S e 25°20'S, a região do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape (Figura 1) apresenta temperatura média anual de 23,8°C, precipitação média anual de 2300 mm (Silva, 1989) e maré do tipo mista, com nível médio de 0,81 m (Mesquita e Harari, 1983). O sistema costeiro possui três ilhas principais - Cardoso, Cananéia e Comprida, separadas por sistemas de canais lagunares e rios. A parte interna do sistema apresenta tendência ao assoreamento, com a formação de esporões, baixios e ilhas, onde se desenvolvem os manguezais (Tessler e Mahiques, 1998). A arquitetura assim como a zonation e sucessão dos bosques de mangue refletem os processos sedimentares de deposição e erosão nesse sistema costeiro (Cunha-Lignon et al., 2009b).

A diversidade paisagística da região, formada por manguezais, restingas, floresta atlântica, praias, estuário, rios e alagados proporciona alta diversidade biológica. A região é considerada Patrimônio Mundial da Humanidade, pelos critérios (vii)(ix)(x), desde 1999.

Segundo Mendonça e Miranda (2008), a região possui produção anual média pesqueira acima de 4.000 toneladas, sendo essencialmente artesanal.

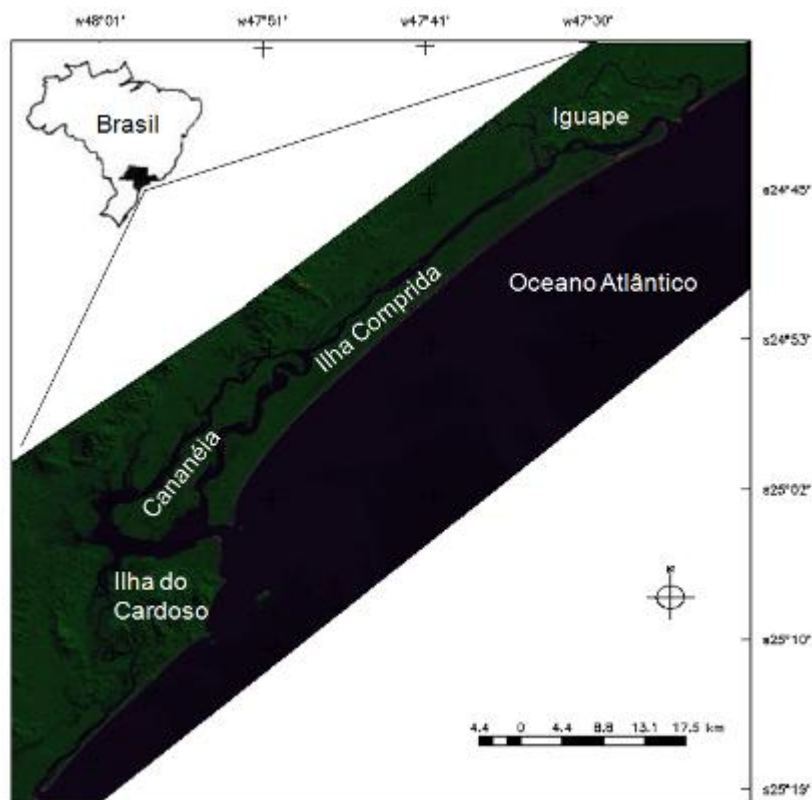


Figura 1: Localização do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo, Brasil. Composição colorida 2B3R4G do mosaico das imagens Landsat TM5, das ponto/órbita 219/77 e 220/77, de 17/06/1997 e 24/06/1977. Área de estudo, região de Iguape, setor norte do sistema costeiro.

## 2.2. Processamento de Imagens

Foram utilizadas as imagens do satélite Landsat TM 5 orbita/ponto 219/77 (projeção UTM, zona 23, Datum WGS-84), referentes às datas 20/05/2010 e 17/06/1997, bandas 2, 3 e 4. As datas das imagens foram escolhidas por não apresentarem qualquer cobertura de nuvem em toda área de interesse.

As imagens foram restauradas no *software* SPRING 5.1.6 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, Camara et al., 1996) para correção geométrica. O registro foi realizado pelo método polinomial de 1º grau para corrigir as distorções geométricas, tomando como referência as imagens orto-retificadas disponíveis no Global Land Cover (<http://www.glc.f.umd.edu/data/landsat/>).

Para destacar as feições de vegetação em tons de vermelho nas imagens, aplicou-se um realce linear de contraste sobre cada uma das bandas na composição colorida utilizada (banda 2 no canal azul, banda 3 no verde e banda 4 no vermelho). Foi realizada segmentação por crescimento de regiões, onde foram praticados os limiares de similaridade igual a 12 e de área igual a 8 *pixels*, metodologia adaptada de Kampel e Amaral (2004) e Kampel et al. (2005). Posteriormente, realizou-se classificação supervisionada, aplicando-se o algoritmo Battacharya, com 95 % de limiar de aceitação. Foram criadas as classes *mangue*, *macrófita*, *água* e *outros*. Posteriormente, foram destacadas somente as classes de interesse *mangue* e *macrófitas*. Edição matricial foi realizada a seguir, com base nos conhecimentos de campo.

### 3. Resultados e Discussão

As composições coloridas 2B3R4G, de 1997 e 2010, mostram respostas espectrais distintas entre os bosques de mangue e os bancos de macrófitas aquáticas (Figuras 2A e B). As macrófitas apresentam tom verde claro, e foram encontradas nas margens do Rio Ribeira e em meandros abandonados (Figura 2A), assim como, no canal lagunar, próximo ao Valo Grande (Figura 2B), indicando alterações em torno do ecossistema manguezal, em 2010. Segundo os relatórios da SOS Mata Atlântica e INPE (2008, 2009, 2010) não houve alteração (decremento ou incremento) de áreas de manguezal nos períodos de 2000 a 2005, de 2005 a 2008 e de 2008 e 2010, nos municípios de Cananéia, Iguape e Ilha Comprida.

No presente estudo, na imagem de 1997, foram mapeadas 827 ha de áreas de mangue e 226 ha de áreas de macrófitas aquáticas (Figura 2C). Essas últimas são observadas nas margens do Rio Ribeira e em meandros abandonados, mas estão ausentes do sistema costeiro, próximo a áreas de manguezal (Figura 2C). Em 2010, a classificação supervisionada indicou 952 ha de área de manguezal e 329 ha de bancos de macrófitas aquáticas, encontradas no sistema costeiro, sobretudo em áreas próximas ao canal artificial Valo Grande e nas margens do Rio Ribeira de Iguape (Figura 2D). Apesar de aumento de áreas de manguezal de 125 ha, entre 1997 e 2010, há expressiva ocorrência de macrófitas em torno dos bosques de mangue, sobretudo nas proximidades do Valo Grande e ao longo do canal lagunar, em direção ao sul. Em direção à desembocadura norte do sistema costeiro, a maior influência das marés, aumenta a salinidade das águas, reduzindo a ocorrência de macrófitas aquáticas (Figura 2D). Dahdouh-Guebas et al. (2005) sugerem o termo *cryptic ecological degradation* para descrever incremento de áreas de manguezal, mascarando condições de degradação ambiental, ecológica e na composição de espécies de mangue, em lagoas costeiras no Sri Lanka, alteradas por fatores hidrológicos.

O aumento de bancos de macrófitas aquáticas se desenvolvendo em torno de ilhas colonizadas por bosques de mangue pode ser observado nas fotografias de 1999 e 2010 (Figuras 2E e F). Rodrigues et al. (2010) afirmam que no trecho norte do sistema costeiro, a entrada de água doce carregada pelo canal artificial Valo Grande, provocou aumento de macrófitas aquáticas na região, tais como as espécies *Pistia stratiotes*, *Salvinia* sp. e *Eichhornia crassipes*, consideradas como bioindicadoras de áreas alteradas. Dessa forma, Cunha-Lignon et al. (2010) sugerem que o fechamento do Valo Grande deve ser reavaliado, de modo a auxiliar na manutenção do ecossistema manguezal, das atividades pesqueiras e da paisagem local.

Nocolodi e Petermann (2010), apresentam estudo sobre a vulnerabilidade da zona costeira brasileira, com enfoque nos aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. Segundo Nicolodi e Petermann (2010), a zona costeira brasileira deve ser considerada como espaço prioritário para ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima, independente de sua gênese antrópica ou natural. Deve ser considerado o monitoramento ambiental permanente, gerando-se série de dados a longo prazo. Considerando-se as mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a zona costeira, elevação do nível do mar, erosão costeira, aumento de desastres naturais entre outros, faz-se necessário monitoramento de áreas de manguezal que, de forma gratuita e eficiente, retém sedimentos e protegem a linha de costa, além de prestarem outros serviços às comunidades humanas.

Os resultados do processamento de imagens de satélite Landsat TM5 com uso de técnicas de sensoriamento remoto, subsidiados por dados de estrutura de bosques de mangue em parcelas permanentes, poderão dar subsídios ao gerenciamento costeiro de áreas singulares, como o Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, litoral sul do Estado de São Paulo.

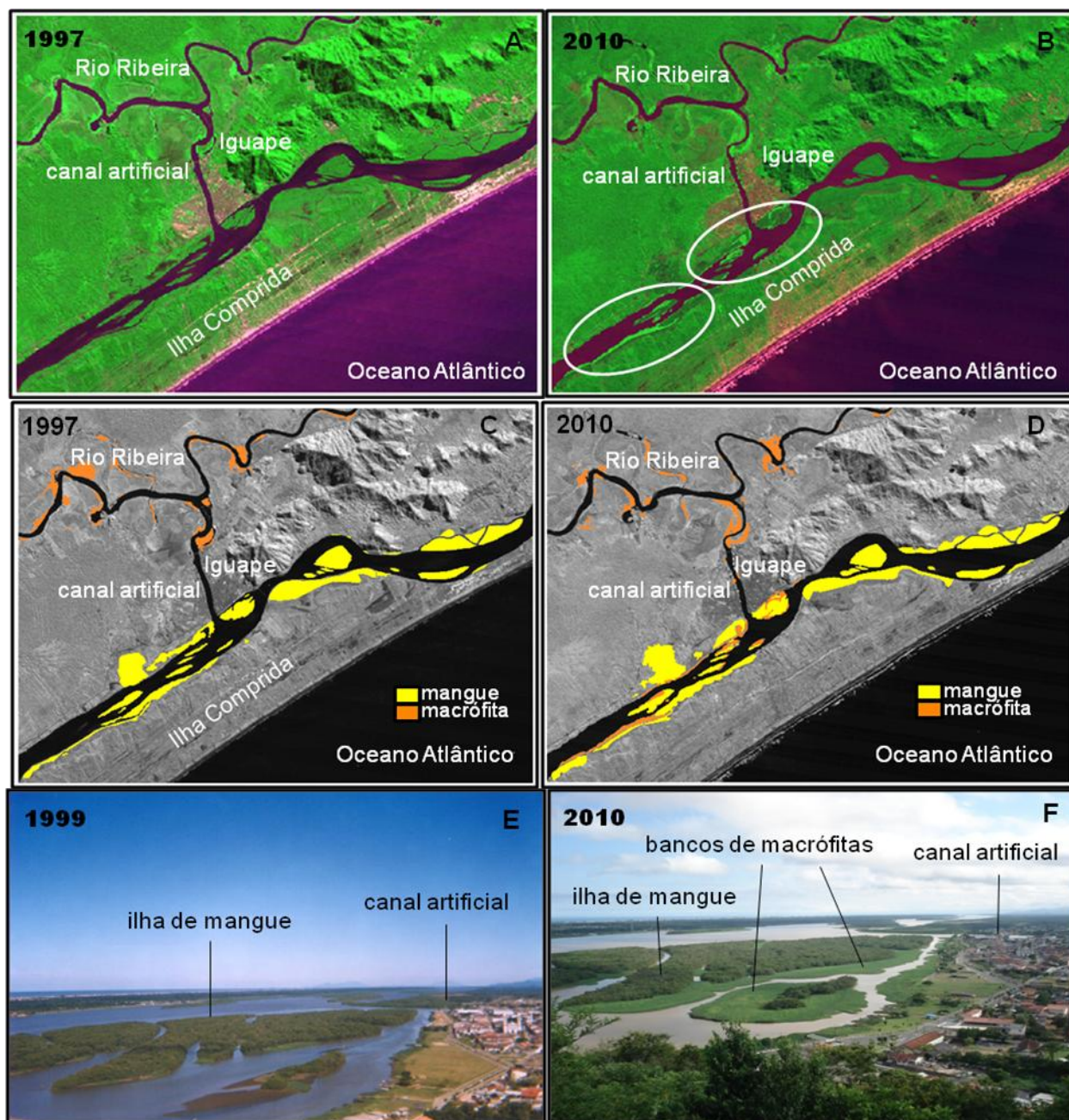


Figura 2: Composições coloridas 2B3R4G, das imagens de 1997 (A) e 2010 (B). Destaque para ovoides brancos, indicando macrófitas aquáticas típicas de água doce (verde claro), ao redor de ilhas de mangue, presentes em 2010 (B). Resultado das classificações Battacharya, das imagens de 1997 (C) e 2010 (D), sobre banda 4. Destaque para as macrófitas aquáticas, no sistema costeiro, próximo ao canal artificial Valo Grande, em torno de áreas de manguezal, em 2010 (D). Fotografias oblíquas obtidas em 1999 (E) e 2010 (F), a partir do Morro do Espia, por M. Cunha-Lignon.

#### 4. Conclusões

A metodologia empregada, adaptada de Kampel e Amaral (2004) e Kampel et al. (2005), mostrou-se apropriada para estudo da dinâmica de áreas de manguezal, assim como para identificação de macrófitas aquáticas.



O uso de composição colorida 2B3R4G das imagens Landsat TM5, realçando os diferentes tipos de vegetação em vermelho, associado ao conhecimento prévio da área de estudo, auxiliaram sobremaneira a classificação supervisionada, assim como a elaboração dos mapas finais.

Os resultados do presente estudo mostram alterações nas áreas de manguezal, na região de Iguape, litoral sul do Estado de São Paulo. Apesar do incremento de 125 ha desse ecossistema, entre 1997 e 2010, a ocorrência de bancos de macrófitas ao redor de bosques de mangue no sistema costeiro, sobretudo próximo ao Valo Grande, em 2010, alerta para as alterações ambientais, que vem ocorrendo na região, em função da redução da salinidade, e consequentemente com a perda de funções ecológicas do ecossistema manguezal.

### **Agradecimentos**

O presente estudo faz parte do pós-doutorado da 1ª autora, financiado pela Fapesp (Processo N° 2009/05507-0). Agradecemos a Márcio Barragana, Chefe da APA Cananéia-Iguape-Peruíbe/ICMBio, pel uso da base da APA, em Iguape. A equipe de campo, assim como o material utilizado para estudo da estrutura de bosques de mangue, foram importantes para a interpretação das imagens de satélite. Dessa forma, gostaríamos de agradecer a Dra. Yara Schaeffer-Novelli e Dr. Ricardo Palamar Menghini, ambos do Instituto BiomaBrasil, assim como a Francisca R. S. Pereira, Ricardo Duran Santos e Armando Reis, os quais participaram da equipe de campo.

### **Referências Bibliográficas**

- Câmara, G.; R.C.M. Souza; U.M. Freitas; J. Garrido & F.M. Li. SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **J. Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403, may-jun, 1996.
- Cunha-Lignon, M.; Menghini, R.P.; Santos, L.C.M.; Niemeyer-Dinóla, C.; Schaeffer-Novelli, Y. Estudos de Caso nos Manguezais do Estado de São Paulo (Brasil): Aplicação de Ferramentas com Diferentes Escalas Espaço-Temporais. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 9, n. 1, p. 79-91, 2009a.
- Cunha-Lignon, M.; Mahiques, M.; Schaeffer-Novelli, Y.; Rodrigues, M.; Klein, D.; Goya, S.; Menghini, R.; Tolentino, C. Analysis of mangrove forest succession, using cores: a case study in the Cananéia-Iguape Coastal System, São Paulo – Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, n. 3, p. 1-13, 2009b.
- Cunha-Lignon, M.; Menghini, R.P.; Schaeffer-Novelli, Y.; Kampel, M. Manguezais da Região de Iguape: até quando?, In: IV Seminário de Pesquisa no Vale do Ribeira, 2010, Registro (SP), **Anais...** v. 4, p. 28. On-line. Disponível em: <[http://www.physis.org.br/spvr/anais\\_IVspvr.pdf](http://www.physis.org.br/spvr/anais_IVspvr.pdf)>. Acesso em: 27 set. 2010.
- Dahdouh-Guebas, F. The use of remote sensing and GIS in the sustainable management of tropical coastal ecosystems. **Environment, Development and Sustainability**, v. 4, p. 93-112, 2002.
- Dahdouh-Guebas, F.; Hettiarachchi, S.; Lo Seen, D.; Batelaan, O.; Sooriyachchi, S.; Jayatissa, L.P.; Koedam, N. Transitions in ancient inland freshwater resource management in Sri Lanka affect biota and human populations in and around coastal lagoons. **Current Biology**, v. 15, p. 579-586, 2005.
- FAO (Food and Agriculture Organization). **The world's mangrove: 1980 – 2005**. A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 77p, 2007.
- Giri, C.; Ochieng, E.; Tieszen, L.L.; Zhu, Z.; Singh, A.; Loveland, T.; Masek, J; Duke, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, 2010.

Kampel, M.; Amaral, S. Imagens CCD/CBERS como alternativa para o monitoramento de ecossistemas costeiros: manguezais no Nordeste do Brasil. In: Simpósio Latino-Americano de Percepção Remota. Chile. **Anais...** 2004.

Kampel, M.; Amaral, S.; Soares, M.L.G. Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat para análise multi-temporal de manguezais no Nordeste brasileiro. Um estudo no litoral do Estado do Ceará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12, 2005, Goiânia. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 979-986, 2005. CD-Rom, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.09.39/doc/979.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2010.

Mahiques, M.M., Burone, L., Figueira, R.C.L., Lavenère-Wanderley, A.A.O., Capellari, B., Rogachski, C.E., Barroso, C.P., Santos, L.A.S., Codero, L.M., Cussioli, M.C. Anthropogenic influences in a lagoonal environment: a multiproxy approach at the Valo Grande Mouth, Cananéia-Iguape System (SE Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, n. 4, 325-337, 2009.

Mendonça, J.T.; Miranda, L.V. Estatística pesqueira do litoral sul do estado de São Paulo: subsídios para gestão compartilhada. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 3, n. 3, p. 152-173, 2008.

Mesquita, A.L.; Harari, J. Tides and gauges of Cananéia and Ubatuba – Brazil (Lat 24°). **Relat. Int. Inst. Oceanogr.**, Univ. S. Paulo, n. 11, p. 1-14, 1983.

Nicolodi, J.L.; Petermann, R.M. Mudanças Climáticas e a Vulnerabilidade da Zona Costeira do Brasil: aspectos ambientais, sociais e tecnológicos. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 10 n. 2, p. 151-177, 2010.

Rodrigues, M.E.F.; Cunha-Lignon, M.; Menghini, R.; Schaeffer-Novelli, Y.; Kampel, M.; Dahdouh-Guebas, F. Floristic survey of macrophytes in mangroves subjected to artificial freshwater input: a Brazilian study case. Young Botanists' Forum, Royal Botanical Society of Belgium, **Proceedings...**, Belgium, 1P.

São Paulo. Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro. Lei N° 10.019, de 03 de julho de 1998.

Silva, J.F. Dados climatológicos de Cananéia e Ubatuba (Estado de São Paulo). **Bolm. climatol. Inst. Oceanogr.**, São Paulo, n. 6, p. 1-21, 1989.

SOS Mata Atlântica; INPE. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2000-2005. São Paulo, 157p, 2008. Disponível em: <http://mapas.sosma.org.br/>. Acesso em: 10. nov. 2009.

SOS Mata Atlântica; INPE. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2005-2008. Relatório Parcial. São Paulo, 156p, 2009. Disponível em: [http://mapas.sosma.org.br/site\\_media/download/atlas%20mata%20atlantica-relatorio2005-2008.pdf/](http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas%20mata%20atlantica-relatorio2005-2008.pdf/). Acesso em: 02. fev. 2010.

SOS Mata Atlântica; INPE. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: período 2008-2010. Relatório Parcial. São Paulo, 60p, 2010. Disponível em: [http://mapas.sosma.org.br/site\\_media/download/atlas-relatorio2008-2010parcial.pdf/](http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas-relatorio2008-2010parcial.pdf/). Acesso em: 13. out. 2010.

Tessler, M.G.; Mahiques, M.M. Erosional and depositional processes on the Southern Coast of the State of São Paulo: a case study of Cananeia-Iguape System. **An. Acad. Bras. Ci.**, v. 70, n. 2, p. 267-275, 1998.