

Monitoramento dos processos sedimentares nas desembocaduras de um sistema costeiro sub-tropical

Marília Cunha Lignon ¹
Milton Kampel ²
Vilmar Antônio Rodrigues ¹
Celia Regina de Gouveia Souza ³

¹ Universidade Estadual Paulista, Câmpus Experimental de Registro
11900-000, Registro – SP, Brasil
{cunha.lignon, vilmar}@registro.unesp.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Divisão de Sensoriamento Remoto
São José dos Campos - SP, Brasil
milton@dsr.inpe.br

³ Instituto Geológico - IG
Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo
São Paulo - SP, Brasil
celia@igeologico.sp.gov.br

Abstract

The use of geotechnologies has assisted in the environmental monitoring enabling the survey of the main impacts and helping in the adoption of mitigating measures. The current study were monitored sedimentary processes at the mouths of the Cananéia-Ilha Comprida-Iguape Coastal System. Landsat TM-5 satellite images from the years 1987, 1991, 1993, 1997, 2005 and 2010 were used. The images were digitally processed in SPRING. A separation of land and water was carried out on satellite images, from the mouths of the Ribeira de Iguape River and the Icapara mouth, in order to delimit the coastlines. They were compared multitemporally in order to analyze spatio-temporal evolution. For each year non-linear edge detection filter Sobel was applied. The mouths of the study areas presented intense sedimentary dynamics during the analyzed period. Bathymetric surveys conducted in the study area indicated greater depths located in the stretches where the channels are narrower and in meander areas of the lagoon channels, confirming the importance of these data for the understanding of the erosive processes in the region. The monitoring of the mouths of coastal systems should be considered as a necessary measure because they are extremely dynamic areas in terms of sedimentary processes often subjected to inadequate human occupation. From the present study, it is suggested the application of the filter for edge detection in the processing of satellite images to monitor the dynamics of the mouths of coastal systems by managers of Conservation Units and other actors involved in the management of the Brazilian coast.

Palavras-chave: geotechnologies, erosional and deposicional processes, Southern Litoral of São Paulo

1. Introdução

Geotecnologias fornecem informações que tem subsidiado comparações temporais com o estado atual de regiões costeiras, possibilitando o levantamento dos principais impactos e a elaboração de cenários futuros, auxiliando na adoção de medidas mitigadoras com vistas à gestão (Dahdouh-Guebas, 2002).

O monitoramento ambiental permanente deve ser considerado, gerando-se série de dados a longo prazo, sobretudo 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 (Nicolodi e Petermann, 2010). De acordo com Schaeffer-Novelli et al. (2016), a zona costeira deve ser alvo de medidas antecipatórias para redução de riscos por quaisquer impactos, uma vez que nela há intensa convergência de processos sociais e ecológicos. Os ecossistemas dessa região (restingas, manguezais e marismas) devem ser integrados em estratégias de adaptação. O manejo costeiro deve ser embasado em mitigação pró-ativa e colaborativa de longo-termo, sempre com base em estudos ecossistêmicos e em programas de monitoramento.

Avaliações de mudanças e evolução de linhas de costa por meio de produtos de sensores remotos são ferramentas essenciais em estudos de processos costeiros (Souza e Luna, 2009). Da mesma forma, imagens de satélite de média resolução, como o Landsat-TM, oferecem informações satisfatórias para a compreensão da dinâmica dos ecossistemas costeiros (Giri et al., 2011).

A linha de costa do Estado de São Paulo possui cerca de 430 km de praias arenosas oceânicas, cujas características morfodinâmicas variam bastante ao longo do litoral, principalmente em função das diferenças geomorfológicas da costa (Souza, 2012).

O Litoral Sul de São Paulo (municípios de Cananéia, Ilha Comprida e Iguape) apresenta praias dissipativas de alta energia e de orientação NE-SW, portanto abertas para os sistemas de ondas de maior energia provenientes de S-SE, as quais estão associadas a planícies costeiras amplas e a uma plataforma continental de baixo gradiente topográfico (Souza, 2012). Nesse setor está presente o arco praiado mais extenso do litoral paulista, a Praia da Ilha Comprida (cerca de 72 km de extensão), e também o maior conjunto de paleodunas e dunas existente nesse litoral.

Apesar do Litoral Sul de São Paulo possuir o mais baixo adensamento populacional de todo o litoral paulista, 62,5% de suas praias se encontram em Risco Muito Alto e Alto de erosão costeira, cujas causas estão relacionadas a vários processos naturais e intervenções antrópicas locais (Souza, 2012).

O presente trabalho tem por objetivo realizar monitoramento dos processos sedimentares nas desembocaduras do trecho norte do Sistema Costeiro sub-tropical Cananéia-Ilha Comprida-Iguape.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de Estudo

A área de estudo compreende o Sistema Costeiro Cananéia-Ilha Comprida-Iguape, situado entre as latitudes 24°40'S e 25°20'S (Figura 1). A região apresenta temperatura média anual de 23,8°C, precipitação média anual de 2300 mm e regime de micromarés com maré do tipo mista, sendo o nível médio do mar de 0,81 m.

Esse sistema costeiro possui três ilhas principais - Cardoso, Cananéia e Comprida, separadas por sistemas de canais lagunares e estuarinos, que formam dois sistemas barreira-laguna. A Ilha Comprida é uma ilha-barreira, de orientação NE-SW e idade principalmente holocênica, cujo crescimento se deu de sul para norte, controlado por correntes de deriva litorânea, correntes de maré no canal lagunar e processos eólicos (Guedes, 2009). A extremidade norte da Ilha Comprida tem, portanto, idade mais jovem (Holoceno médio) do que os terrenos ao sul (Holoceno superior). As desembocaduras dessa ilha barreira são denominadas de barras de Icapara (ao norte) e de Cananéia (ao sul) (Figura 1). A barra de Icapara, além de drenar para o mar as águas lagunares do Mar Pequeno, recebe também a desembocadura do Rio Ribeira de Iguape, e separa os arcos praiados da Ilha Comprida e da

Praia da Juréia. Essa é, portanto, uma área de dinâmica extremamente intensa e regida por processos lagunares, estuarinos e marinhos.

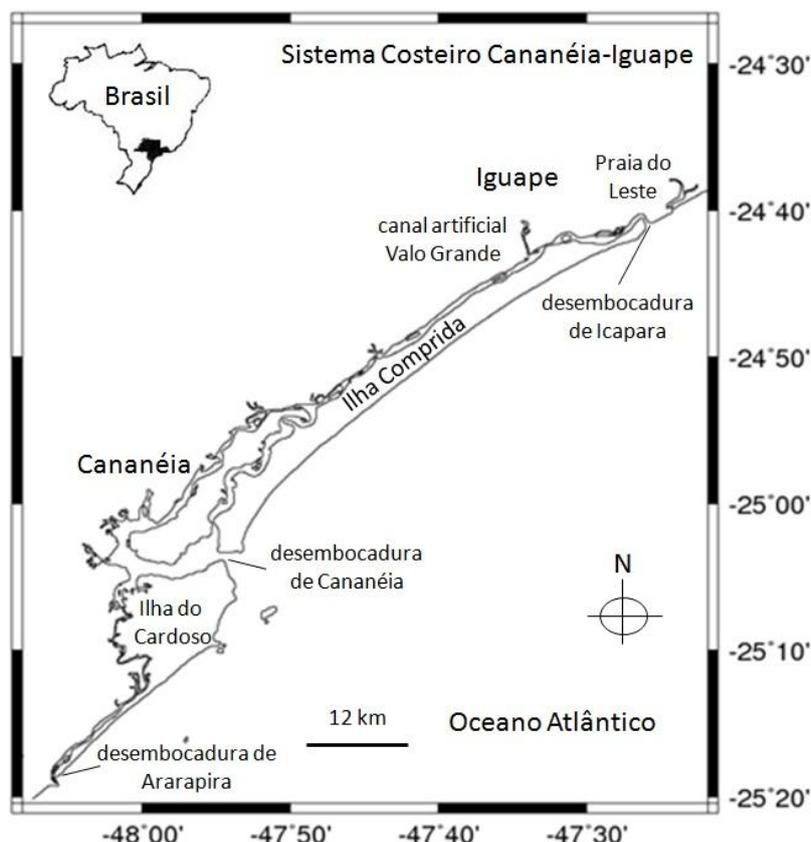


Figura 1. Localização do Sistema Costeiro Cananéia-Ilha Comprida-Iguaape, Estado de São Paulo, Brasil.

Apesar da desembocadura do Rio Ribeira de Iguape estar localizada nessa área, cerca de 60% de suas águas são drenadas para o interior do Mar Pequeno junto à cidade de Iguape, via Valo Grande. O Valo Grande é um canal artificial aberto entre 1827 e 1852, para encurtar o percurso do transporte dos alimentos produzidos em fazendas ao longo do Rio Ribeira de Iguape até o Porto de Iguape (Mahiques et al. 2014). O canal, que originalmente possuía 4,4 m de largura e 2 m de profundidade, apresenta hoje cerca de 250 m de largura e 7 m de profundidade. A abertura desse canal tem acarretado grandes alterações na porção norte desse sistema costeiro, tais como aumento de taxa de sedimentação, redução de salinidade, mudança na biota local (Mahiques et al., 2013), além de redução das áreas de manguezal e substituição por espécies de macrófitas aquáticas invasoras (Cunha-Lignon et al., 2011; 2015).

O Sistema Costeiro Cananéia-Ilha Comprida-Iguaape apresenta alta diversidade paisagística e Unidades de Conservação de categorias de manejo distintas, as quais integram a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e o Sítio do Patrimônio Mundial Natural, reconhecidos pela UNESCO.

2.2. Processamento de Imagens

No presente estudo foram utilizadas imagens do satélite Landsat TM-5 órbita/ponto 219/77 (projeção UTM, zona 23S, Datum WGS-84, 30 m de resolução espacial), referentes aos anos de 1987, 1991, 1993, 1997, 2005 e 2010, banda 4 (0,76-0,90 μm). As datas foram selecionadas por apresentarem menor cobertura de nuvens na região de interesse.

As imagens foram processadas digitalmente no *software* SPRING 5.1.8 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) 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.glcf.umd.edu/data/landsat/>).

Foi realizada separação entre terra e água nas imagens de satélite, das duas desembocaduras em questão - Icapara e Rio Ribeira de Iguape, de modo a se delimitar as linhas de costa. As mesmas foram comparadas multitemporalmente de forma a se analisar a evolução espaço-temporal.

Para cada ano foi aplicado filtro não-linear de detecção de bordas Sobel. Dessa forma, obtiveram-se seis imagens das desembocaduras. Posteriormente, foram realizadas comparações visuais entre os anos de interesse com uso dos canais RGB.

Cálculo da diferença entre as linhas de costa de 1987 e 2010 (datas mais antiga e recente, respectivamente) foi realizado com auxílio do *software* AutoCad, versão R14, de modo a se avaliar a área de acreção e regressão do trecho estudado.

2.3. Batimetria

Foi realizado levantamento batimétrico ao longo de transversais no Rio Ribeira, Valo Grande e Mar Pequeno, em dezembro de 2010, de modo a se registrar as áreas de maiores profundidades e relacioná-las à ocorrência de processos erosivos. Para tanto, foi utilizado ecobatímetro Simrad, modelo EQ 33 TFT GB, *software* versão 1.27 e sistema DGPS Trimble, modelo R4, sendo os dados gerenciados pelo *software* Trimble Hydro Pro Navigation, capturando as profundidades e coordenadas dos pontos batimétricos, no sistema SIRGAS 2000. A elaboração dos mapas batimétricos foi realizada com auxílio do *software* livre gvSIG, versão 2.3.1, para Linux.

3. Resultados e Discussão

As desembocaduras do Rio Ribeira e de Icapara apresentaram dinâmica sedimentar bastante intensa ao longo do período analisado (Figura 2).

Comparando as linhas de costa dessa região, nos anos de 1987 e 2010, observa-se grande complexidade na dinâmica de processos erosivos e deposicionais (Figura 3), evidenciada por: prolongamento para norte do extremo norte da Ilha Comprida; prolongamento para sul do extremo sul da Praia da Juréia; redução da largura da desembocadura de Icapara, confinamento da desembocadura do Rio Ribeira de Iguape; todos esses fatores resultaram em extrema erosão da Praia do Leste (Figura 4).

A Tabela 1 apresenta uma síntese do balanço em área para contabilizar os processos de erosão e acreção da linha de costa na região estudada, entre os anos de 1987 e 2010, conforme representado na Figura 4.

Nota-se que de 1987 para 2010, as áreas acrescidas na Ilha Comprida e na Praia da Juréia apresentam valores similares entre si, e que ambas somam 2.297.050,98 m². Este montante, por sua vez, corresponde a um valor bem próximo ao da área erodida na Linha de Costa Continental, que inclui a margem esquerda do Mar Pequeno, a Praia do Leste e a margem direita do Rio Ribeira de Iguape (Figura 4), que foi de 2.378244,80 m². Por outro lado, os 601.732,88 m² de sedimentos que foram erodidos nesse período se referem a bancos arenosos alçados e isolados junto à desembocadura lagunar, sendo, portanto, feições efêmeras associadas a um delta de maré enchente observado apenas na imagem de 1987. Parte desses depósitos parece ter sido remobilizado e ancorado à Praia do Leste nos anos de 1991 e 1993.

Esses resultados sugerem que, de maneira geral, houve uma reorganização morfodinâmica de toda essa região, sem perdas ou ganhos representativos de sedimentos e, portanto, o balanço sedimentar ficou em aparente equilíbrio durante esses 23 anos.

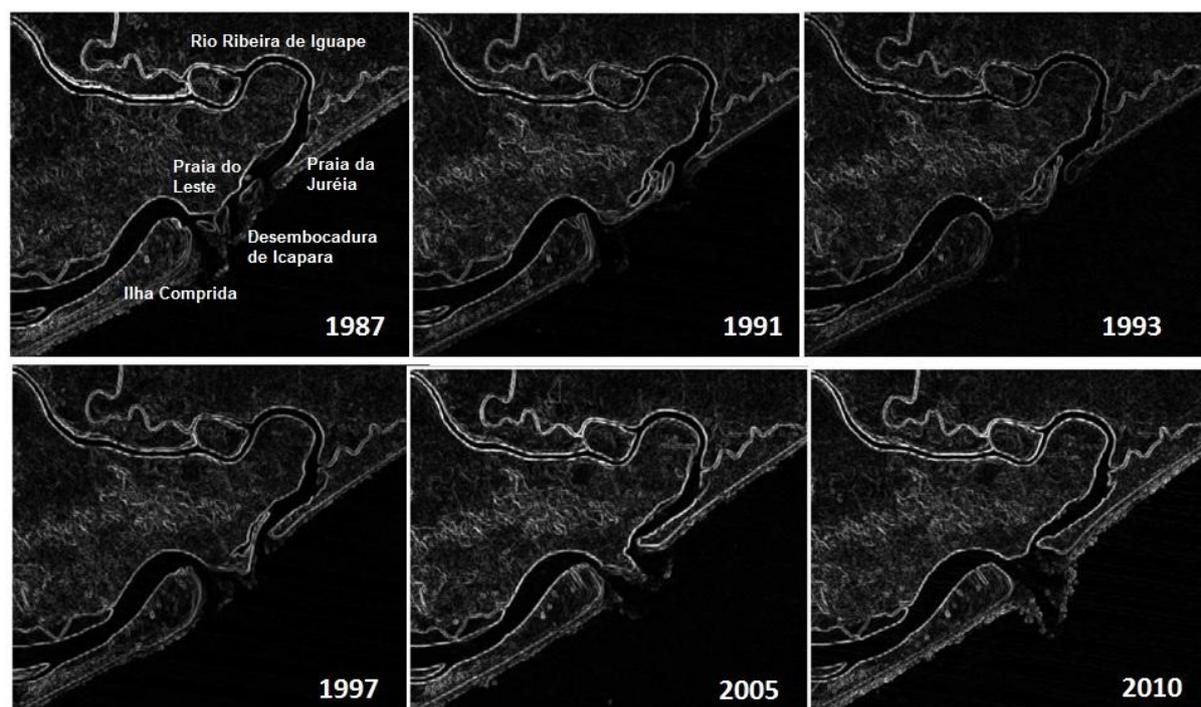


Figura 2. Dinâmica das desembocaduras de Icapara e do Rio Ribeira de Iguape, nos anos de 1987, 1991, 1993, 1997, 2005 e 2010.

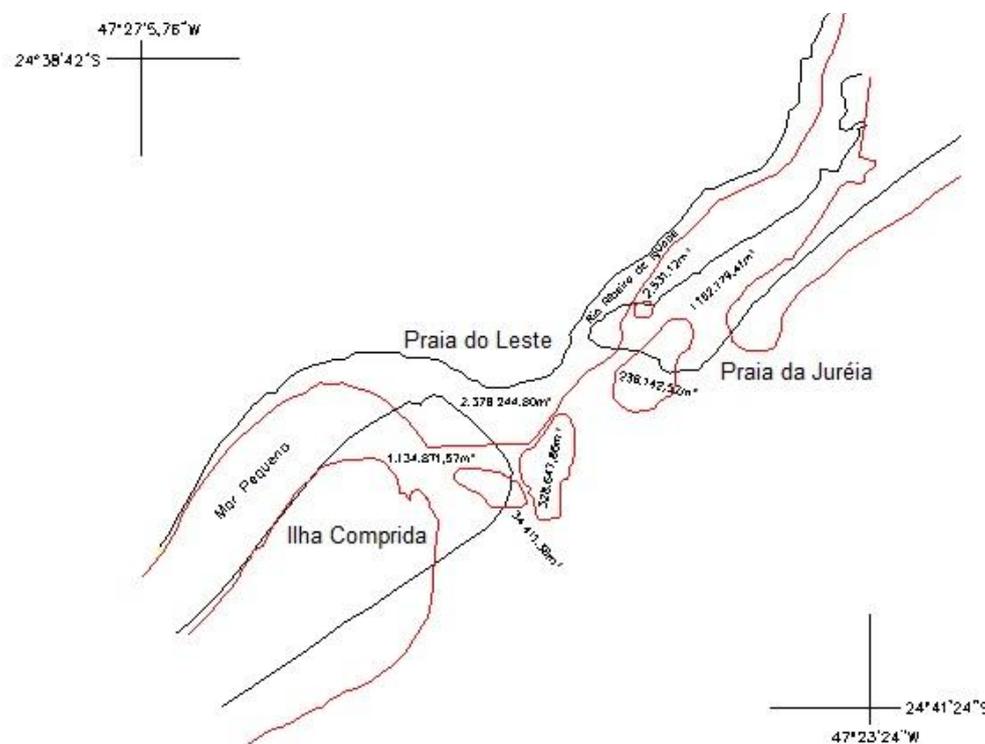


Figura 3. Sobreposição dos trechos de desembocaduras de Icapara e do Rio Ribeira de Iguape, nos anos de 1987 (traçado vermelho) e 2010 (traçado preto).



Figura 4. Erosão acelerada na Praia do Leste, em 07/06/2011 (Foto de M. Cunha Lignon).

Tabela 1. Balanço entre áreas erodidas e acrescidas na região das desembocaduras do Rio Ribeira de Iguape e de Icapara.

Área	Ilha Comprida (m ²)	Praia do Leste (m ²)	Mar Pequeno (m ²)	Praia da Juréia (m ²)
Erodida	0	2.378.244,80	601.732,88	0
Acrescida	1.134.871,57	0	0	1.162.179,41

Em relação aos levantamentos batimétricos, em dezembro de 2010 o canal lagunar (Mar Pequeno) e Rio Ribeira de Iguape apresentavam profundidades entre 2 e 8 m (Figura 5). Observa-se que as maiores profundidades estão localizadas nos trechos onde os canais se encontram mais estreitos e em áreas de meandramento dos canais lagunares (Figura 5). Dessa forma, reforça-se a importância dos dados de batimetria auxiliando no entendimento dos processos erosivos atuantes na região. Segundo Nascimento Jr. et al. (2008), a intensa morfodinâmica no extremo norte da Ilha Comprida foi influenciada pela abertura do canal artificial Valo Grande, assim como nas áreas onde há meandramento do canal lagunar.



Figura 5. Mapa batimétrico da região entre o baixo curso do Rio Ribeira de Iguape, o Valo Grande, o Mar Pequeno e a desembocadura de Icapara, em dezembro de 2010.

4. Conclusões

Apesar dos fortes impactos observados, como o desaparecimento da Praia do Leste, os resultados sugerem que as grandes modificações morfológicas observadas na região das desembocaduras de Icapara e do Rio Ribeira de Iguape, entre 1987 e 2010, estão aparentemente relacionadas a processos naturais associados à interação entre as dinâmicas marinha, lagunar e estuarina, e aos processos eólicos superimpostos, mas que podem ter sido influenciadas pela vazão do canal artificial Valo Grande.

A simples comparação entre as áreas sedimentares erodidas e acrescidas permite sugerir que o balanço sedimentar permaneceu em equilíbrio nessa região durante os 23 anos de observação.

Para uma melhor avaliação histórica e averiguação de alguma possível ciclicidade do fenômeno, seria importante recuar temporalmente as análises por meio da utilização de fotografias aéreas disponíveis das décadas de 1960 e 1970. Além disso, será importante expandir a área de estudo para o interior do canal lagunar, pelo menos até a proximidade com o Valo Grande, para verificar quais as possíveis interações entre a dinâmica desse canal e a da desembocadura lagunar.

Entende-se que o monitoramento das desembocaduras dos sistemas costeiros deva ser considerado como medida necessária para gestão adequada das zonas costeiras. As mesmas são áreas extremamente dinâmicas em termos de processos sedimentares (erosivos e deposicionais) e muitas vezes submetidas à ocupação humana inadequada.

Imagens de satélite disponibilizadas gratuitamente por órgãos do governo nacional e internacional, tais como do Landsat 8, CBERS-4 e Sentinel 2, são de grande importância para o monitoramento da evolução da linha de costa.

Considerando a facilidade de aplicação do filtro para detecção de bordas, sugere-se uso desse processamento de imagens de satélite para monitoramento da dinâmica das desembocaduras de sistemas costeiros por gestores de Unidades de Conservação e outros

atores envolvidos na gestão de áreas do litoral brasileiro. Capacitação técnica dos gestores deve ser considerada em programa de monitoramento das zonas costeiras.

Agradecimentos

O presente estudo foi realizado com os auxílios financeiros da Fapesp (Processo 2009/05507-0) e do CNPq Edital Universal (Processo 445418/2014-1). Agradecemos o coordenador da comunidade brasileira do GvSIG, Gilberto Cugler, pela elaboração dos mapas finais de batimetria.

Referências Bibliográficas

- Angulo, R.J.; Souza, M.C. & Muller, M.E. Evolução do esporão e consequências da abertura de uma nova desembocadura do Mar do Ararapira (Paraná, Brasil). In: XI Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário – ABEQUA, Belém (PA), 2007. **Anais...**, CD-ROM. 2007.
- Cunha-Lignon, M., Kampel, M. Análise multitemporal de imagens Landsat para monitoramento de áreas de manguezal: subsídio à gestão costeira do litoral sul do Estado de São Paulo. In: Simpósio de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 5032-5038, 2011.
- Cunha-Lignon, M.; Almeida, R.; Lima, N.G.B.; Galvani, E.; Menghini, R.P.; Coelho-Jr., C. & Schaeffer-Novelli, Y., 2015. Monitoramento de Manguezais: abordagem integrada frente às alterações ambientais. **Anais...** VIII CBUC - Trabalhos Técnicos, Curitiba, 1-17, 2015.
- 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**, 1-6, 2011.
- Guedes, C.C.F. Evolução Sedimentar Quaternária da Ilha Comprida, Estado de São Paulo. **Dissertação de Mestrado**. Instituto de Geociências-USP. 133p. 2009.
- Mahiques, M.M.; Figueira, R.C.L.; Salaroli, A.B.; Alves, D.P.V.; Gonçalves, C. 150 years of anthropogenic metal input in a Biosphere Reserve: the case study of the Cananéia-Iguape Coastal System, Southeastern Brazil. **Environ. Earth Sci.**, 68: 1073 – 1087, 2013.
- Mahiques, M.M.; Figueira, R.C.L.; Alves, D.P.V.; Italiani, D.M.; Martins, C.C. e Dias, J.M.A. Coastline changes and sedimentation related with the opening of an artificial channel: the Valo Grande Delta, SE Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**. nov. 2014.
- Nicolodi, J.L.; Petermann, R.M. Potential vulnerability of the Brazilian coastal zone in its environmental, social, and technological aspects. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, 5 (2): 184 – 204, 2010.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Soriano-Serra, E.J.; Vale, C.C.; Bernini, E.; Rovai, A.S.; Pinheiro, M.A.A.; Schmidt, A.J.; Almeida, R.; Coelho Jr., C.; Menghini, R.P.; Martinez, D.I.; Abuchahla, G.M.O.; Cunha-Lignon, M.; Charlier-Sarubo, S.; Shirazawa-Freitas, J. Cintrón-Molero, G., 2016. Climate changes in mangrove forests and salt marshes. **Brazilian Journal of Oceanography**, 64 (SP 2): 37-52.
- Souza, C. R. de G. Praias arenosas oceânicas do Estado de São Paulo (Brasil): Síntese dos conhecimentos sobre morfodinâmica, sedimentologia, transporte costeiro e erosão costeira. **Revista do Departamento de Geografia-USP**, n. 2012, Volume Especial 30 anos, p. 308-371. 2012.
- Souza, C.R. de G. & Luna, G.C. Taxas de retrogradação e balanço sedimentar em praias sob risco muito alto de erosão no município de Ubatuba (Litoral Norte de São Paulo). **Quaternary and Environmental Geosciences**. 1(1): 25-41, 2009.