



Estudos de Caso nos Manguezais do Estado de São Paulo (Brasil): Aplicação de Ferramentas com Diferentes Escalas Espaço-Temporais *

*Case Studies in the Mangrove Forests of the State of São Paulo (Brazil):
Application of Tools Using Different Spatial and Temporal Scales*

Marília Cunha-Lignon^{1, 2}, Ricardo Palamar Menghini², Luciana Cavalcanti Maia Santos², Camila Niemeyer-Dinóla², Yara Schaeffer-Novelli²

RESUMO

Como subsídio a fiscalização e a gestão costeira discute-se em escalas espaço-temporais a aplicação de diversas ferramentas, visando avaliar a dinâmica natural e os impactos antrópicos ocorridos em manguezais do Estado de São Paulo (Brasil). Em três setores do litoral do estado (Baixada Santista e litorais Norte e Sul) foram realizados estudos de caso em áreas distintas.

Séries históricas de imagens de satélite e de fotografias aéreas foram analisadas com auxílio do Sistema de Informação Geográfica (SIG) SPRING, programa freeware, desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Na escala da paisagem foram utilizadas imagens de satélite Landsat MSS e TM, possibilitando avaliar as respostas da cobertura vegetal à dinâmica sedimentar. Foram realizadas análises de séries temporais de fotografias aéreas em todos os estudos de caso, avaliando as respostas da cobertura vegetal dos bosques de mangue aos impactos naturais e antrópicos de diversas origens. A determinação da estrutura dos bosques de mangue e o monitoramento dos bosques em parcelas fixas foram realizados em campo.

A análise e processamento de fotografias aéreas continuam se apresentando como ferramentas importantes para monitoramento da ocupação humana na zona costeira, visto o baixo custo e escala grande de fotografias aéreas e a possibilidade de se obter informações espaço-temporais anteriores aos levantamentos de dados em campo. O monitoramento da estrutura da cobertura vegetal, em parcelas fixas, mostrou-se fundamental para compreensão da zonation e sucessão de bosques de mangue.

1 Autor correspondente: cunham@usp.br

2 Universidade de São Paulo - Instituto Oceanográfico, BIOMA - Centro de Ensino e Informação sobre Zonas Úmidas Costeiras Tropicais, com Ênfase no Ecossistema Manguezal, Praça do Oceanográfico, 191, 05508-900 - São Paulo, SP - Brasil

No litoral Norte e na Baixada Santista as análises espaço-temporais revelaram importantes alterações de origem antrópica na paisagem ao longo do tempo. No litoral Norte destaca-se o incremento de casas de veraneio instaladas sobre a vegetação de manguezal e de restinga, ambas áreas de preservação permanente. Na Baixada Santista, trecho sul do Canal da Bertioga, observou-se que a expansão da mancha urbana e introdução de estruturas náuticas geraram redução e fragmentação da área inicial da vegetação. Ainda na Baixada Santista, Ilha Barnabé, observou-se a construção de rodovia e ferrovia, expansão portuária e retificação de canal provocando perda de extensas áreas de manguezal por aterros, alagamentos, cortes de vegetação e alterações da hidrodinâmica local.

No Litoral Sul, encontram-se os manguezais mais conservados do Estado de São Paulo. Nesse segmento do litoral as diferentes ferramentas de escalas espaço-temporais mostraram que os bosques de mangue respondem positivamente à importante deposição sedimentar nas faces convexas dos canais lagunares, característica desse segmento. Novos bosques de mangue foram identificados e monitorados, em parcelas fixas, ao longo do tempo.

Conclui-se que os manguezais do Estado de São Paulo sofreram distintas alterações ao longo do tempo, em função de cada trecho de segmento de costa. Os diversos estudos de caso analisados fornecem informações das alterações espaço-temporais na paisagem e nos bosques de mangue. A aplicação das ferramentas utilizadas no presente estudo contribuiu para a obtenção de grande número de informações sobre dinâmica e as alterações antrópicas dos manguezais, as quais são imprescindíveis para a elaboração de planos de gestão e conservação da zona costeira do Estado de São Paulo (Brasil), com vistas à conservação da paisagem e dos recursos naturais.

PALAVRAS CHAVE: gestão costeira, manguezais, escalas espaço-temporais, metodologia.

ABSTRACT

The application of various tools using spatial and temporal scales as a basis for coastal control and management is discussed with a view to assessing the natural dynamics and anthropic impact which has taken place in the mangrove forests of the State of São Paulo (Brazil). Case studies were undertaken in different areas of the three sectors of the State coast ("Baixada Santista" and the Northern and Southern Littoral).

We consider the application of various tools in support of the task of managing complex coastal and estuarine systems characterized by the strength and variability of the physical forces that drive local ecological processes. The characteristics, dynamics, and anthropic driven-change were assessed on the landscape-scale along São Paulo's Baixada Santista, and the Northern and Southern Littoral mangrove ecosystem. Landsat MSS and TM images were used to assess the responses of vegetation cover to sedimentary processes.

Historical series of satellite images and aerial photographs were analyzed with the help of the freeware program of the SPRING Geographical Information System developed by INPE (the Brazilian National Space Research Institute). Landsat MSS and TM satellite images were used on the landscape-scale, thus making it possible to assess the response of the vegetation coverage to the dynamics of sedimentation. Analyses of the temporal series of aerial photographs were made in all the case studies to assess the response of the mangrove forests to the natural and anthropic impacts of different origins. The determination of the structure and the monitoring of the mangrove forests in the fixed plots were undertaken in the field.

Multitemporal aerial photography was used for the assessment of geomorphic and manmade changes. The correlation and comparison of optical images was a versatile tool for the assessment of human occupation, and geomorphic change and was used in each of the case studies discussed. Monitoring of structural changes in fixed plots proved to be fundamental for understanding the full scope of the spatial changes driven by sedimentary processes. Multitemporal comparisons revealed significant changes along the Baixada Santista and the Northern Littoral. Along the Southern Littoral these tools reveal how mangroves respond to forcings by depositional changes, specifically how spatial organization is modified by deposition patterns on meandering channels and subsequent mangrove establishment.

The analysis and processing of aerial photographs continue to be important tools for the monitoring of the human occupation of the coastal zone in view of the low cost and large scale of aerial photography and the possibility of obtaining spatial-temporal information on the period before that of the data available from field surveys. The monitoring of the structure of the vegetation coverage, in fixed plots, has shown itself to be fundamental for the understanding of the zonation and the succession of mangrove forests.

On the Northern Littoral and the "Baixada Santista" the spatial-temporal analyses revealed important manmade changes in the landscape, over time. The increase in the number of summer residences installed in mangrove and restinga forests, both of them protected areas, on the Northern Littoral, is noteworthy. In the "Baixada Santista", in the south sector of the Bertioga Channel, the expansion of the urban area and the introduction of nautical structures have resulted in the reduction and fragmentation of the vegetation area. Further in the "Baixada Santista", on the Barnabé Island, the construction of a highway and a railroad, port expansion and the straightening of the Channel have caused the loss of extensive areas of mangrove vegetation by land-fills, flooding, and alterations in the local hydrodynamics.

The most well-conserved mangrove forests of the State of São Paulo are found on the Southern Littoral. On this section of the coast the

various tools of spatial-temporal scale showed that the mangrove forests respond positively to the considerable sedimentary process on the convex sides of the lagoon channels characteristic of this segment. New mangrove forests were identified and monitored, in fixed plots, over time.

It is concluded that the mangrove forests of the State of São Paulo underwent differential alteration with the passage of time, according to the respective sector of the coast. The various case studies analyzed provide information on these spatial and temporal alterations of the landscape and in the mangrove forests. The application of the tools used in this present study enabled the researchers to obtain a great deal of information on the dynamics and the manmade alterations to the mangrove forests, information essential to the planning of the management and conservation of the coastal zone of the State of São Paulo (Brazil) and for the conservation of the landscape and natural resources.

KEYWORDS: coastal zone management, mangrove ecosystems, spatial and temporal-scale, methodology.

1. INTRODUÇÃO

Em estudos do ecossistema manguezal, a utilização de diversas escalas espaço-temporais auxilia no gerenciamento integrado das zonas costeiras, oferecendo subsídios aos tomadores de decisão (Schaeffer-Novelli et al., 2005). 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). Segundo Schaeffer-Novelli et al. (2000), propostas de gestão costeira devem considerar os processos naturais e antrópicos que agem sobre o ecossistema manguezal.

Manguezais são ecossistemas de transição entre os ambientes terrestre e marinho, característicos de regiões tropicais e subtropicais e sujeitos ao regime das marés. A cobertura vegetal é constituída de espécies vegetais lenhosas típicas (angiospermas), além de micro e macro algas (criptógamas) adaptadas à flutuação de salinidade e caracterizadas por colonizarem sedimentos predominantemente lodosos, com baixos teores de oxigênio (Schaeffer-Novelli, 1991).

Funções como purificação e armazenamento de água, proteção contra tempestades, estabilização das condições climáticas locais, recarga e descarga de aquíferos, retenção de contaminantes; e valores, como base de cadeias alimentares estuarinas e marinhas, oferta de recursos de flora e fauna e possibilidades de turismo e recreação são desempenhados e gerados “gratuitamente” pelos manguezais (Dugan, 1992).

Embora seja reconhecida a importância do ecossistema, manguezais estão submetidos a impactos negativos de diversas origens, como industrial, urbanização, aquicultura e outras atividades humanas realizadas ao longo das zonas costeiras. Segundo Duke et al. (2007), as perdas de manguezais são mais importantes em países em desenvolvimento, onde estão localizados mais de 90% dos manguezais do mundo. Os autores afirmam que medidas efetivas de política de conservação e de educação devem ser aplicadas, de modo a modificar o cenário atual de redução de áreas de manguezal, de forma que futuras gerações possam utilizar os bens e serviços ofertados pelo ecossistema.

No Brasil a gestão da zona costeira ocorre por meio do Programa Nacional de Gerenciamento costeiro, institucionalizado pelo Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC - (Lei 7.661, de 16/05/88). O PNGC tem como objetivo o estabelecimento do processo de gestão, de forma integrada, descentralizada e participativa, das atividades sócio-econômicas na zona costeira, de modo a contribuir para elevar a qualidade de vida de sua população, e a proteção de seu patrimônio natural, histórico, étnico e cultural (Presidência da República do Brasil, 1988).

O PNGC (Presidência da República do Brasil, op. cit.), em seu art. 3º, § 1º dá “prioridade à conservação e proteção dos recursos naturais, renováveis e não renováveis: recifes, parcéis e bancos de algas; ilhas costeiras e oceânicas; sistemas fluviais; estuarinos e lagunares, baías e enseadas; praias; promontórios, costões e grutas marinhas; restingas e dunas; florestas litorâneas, manguezais e pradarias submersas.”

O gerenciamento costeiro integrado é, e deve ser entendido, como uma atividade baseada em ciência e tecnologia. Portanto, ele demanda um conhecimento que surge não apenas de sua aplicação prática, mas de um desenvolvimento conceitual e metodológico crítico que pode ser construído em instituições de pesquisa e desenvolvimento (Asmus et al., 2006). Nesse sentido, considerando-se a ampla distribuição dos manguezais ao longo dos litorais tropicais do planeta, e a necessidade de planos de conservação dessas zonas costeiras, torna-se premente a identificação de técnicas e metodologias a serem empregadas em estudos em diferentes escalas, tanto temporais como espaciais (Schaeffer-Novelli et al., 2005).

2. OBJETIVO

O presente estudo realizou aplicação de diversas ferramentas, em escalas espaço-temporais distintas, visando avaliar a dinâmica natural e os impactos antrópicos ocorridos em áreas de manguezal no Estado de São Paulo (Brasil) e por conseguinte fornecer informações pertinentes à elaboração de planos de gestão e conservação da paisagem e dos recursos naturais da zona costeira em questão.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Áreas de Estudo

Segundo o Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro do Estado de São Paulo (Governo do Estado de São Paulo, 1998), o litoral do Estado de São Paulo, com 622Km de extensão, foi setorizado em quatro regiões: Litoral Norte; Baixada Santista; Complexo Estuarino-Lagunar de Iguape-Cananéia e Vale do Ribeira (Figura 1).

Considerou-se para o presente estudo os setores: Litoral Norte, Baixada Santista e Litoral Sul. Em cada trecho da costa são apresentados estudos de caso em áreas distintas (Figura 2, Tabela I).

Litoral Norte

Localizado entre as latitudes 23°30'S e 23°29'S, formado pelos municípios de Ubatuba, Caraguatatuba, Ilha Bela e São Sebastião, caracteriza-se por apresentar linha de costa recortada, presença de praias, costões e ilhas. Esse setor costeiro apresenta

temperatura média anual de 20°C, precipitação média anual de 2600mm e maré semi diurna do tipo mista, com nível médio de 0,66m. A área de manguezal nesse trecho do litoral perfaz cerca de 1% da área total ocupada por esse ecossistema no Estado de São Paulo (Herz, 1991).

O estudo de caso foi realizado no Município de Ubatuba, na região da Praia Dura com cerca de 1km de extensão. Na porção norte da Praia Dura desembocam os rios Comprido e Escuro, em cujos meandros se desenvolvem vegetação de restinga e de manguezal (Figura 2, Tabela I).

Baixada Santista

Localizada entre as latitudes 24°50'S e 23°45'S, a Baixada Santista encontra-se na região central do litoral de São Paulo, integrada pelos municípios de Bertioga, Praia Grande, Guarujá, Santos, Cubatão e São Vicente. Essa região metropolitana apresenta temperatura média anual de 22°C, precipitação média anual entre 2000 e 2500mm (Santos, 1965) e maré do tipo mista, com nível médio de 0,77m (Ministério da Marinha, 1984).

Ambiente costeiro tropical típico, esse segmento encontra-se dominado por extensos manguezais, vegetação de restinga e floresta atlântica. Esse sistema, entretanto, vem sofrendo com a falta de planejamento no que diz respeito aos efeitos das atividades industriais, portuárias e urbanas, alterando intensamente a paisagem e comprometendo a qualidade ambiental. Em levantamento dos manguezais da Baixada Santista, apenas 40%, dos 133km² dos manguezais originais foram classificados como em bom estado de conservação (CETESB, 1991).

No presente estudo foram consideradas duas áreas, uma no Canal de Bertioga (margens continental e insular) e a outra na Ilha Barnabé, Estuário de Santos (Figura 2, Tabela I). O Canal de Bertioga, com 25km de extensão, está inserido na porção norte da região metropolitana da Baixada Santista (Santos et al., 2007). O sistema biológico do canal é caracterizado como bem desenvolvido e dominado pelo ecossistema manguezal (Schaeffer-Novelli, 1986). A Ilha Barnabé encontra-se localizada na parte central do Estuário de Santos, caracterizada por reunir o maior volume de produtos químicos líquidos, em uma mesma área.

Tabela I - Características das áreas dos estudos de caso em bosques de mangue, setores costeiros do Estado de São Paulo.

Table I – Case-study areas mangrove stands' characteristics, State of Sao Paulo's coastal sectors.

Setor do Litoral	Município	Características da Área do Estudo de Caso	
		Nome da Área Estudada	Coordenadas Geográficas
Norte	Ubatuba	Praia Dura	23°30'S a 23°29'S e 45°10' a 45°09'W
Baixada Santista	Santos/Guarujá	Canal de Bertioga (trecho sul)	23°55'S a 23°52'S e 46°13' a 46°10'W
	Santos	Ilha Barnabé	23°55'S a 23°54'S e 46°20' a 46°18'W
Sul	I. Comprida I. Comprida Cananéia	Baguaçu	24°58'42.32"S a 24°58'36.03"S e 47°53'48.42"W e 47°53'49.45"W (*)
		Nóbrega	25°00'S a 25°01'S e 47°55'W a 47°54'W
		Sítio Grande	24°04'45.90"S a 24°04'46.07"S e 47°56'55.34"W e 47°56'53.01"W (*)

(*) Coordenadas geográficas mais detalhadas, em função da pequena extensão da área estudada.

São cerca de 170 milhões de litros, de centenas de produtos químicos, entre eles dicitopentadieno, acetato de vinila, acrilonitrila, benzeno, tolueno, acrilato de etila, coperaf (a base de hexano) e solventes (cellosolve, ciclopentano, acetato de butila), todos inflamáveis (Poffo, 2007).

Litoral Sul

Situado entre as latitudes 24°40'S e 25°20'S, a região do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape apresenta temperatura média anual de 23,8°C, precipitação média anual de 2300mm (Silva, 1989) e maré do tipo mista, com nível médio de 0,81m (Mesquita & Harari, 1983).

O Sistema possui três ilhas principais (Cardoso, Cananéia e Comprida), separadas por sistemas de canais lagunares e rios. A comunicação dos canais lagunares com o Oceano Atlântico é feita por três desembocaduras (Icapara, Cananéia e Ararapira). A parte interna do Sistema apresenta tendência ao assoreamento, com a formação de esporões, baixios e ilhas, onde se desenvolvem os manguezais (Tessler & Mahiques, 1998).

A diversidade paisagística da região, formada por manguezais, restingas, floresta atlântica, praias, estuário, rios e alagados proporciona alta diversidade biológica. Segundo Herz (1991), os manguezais

ocupam área em torno de 72km². As comunidades humanas da região são formadas por grupos quilombolas, índios, caiçaras, catadores de ostra e de caranguejo, todos dominando as artes de pesca tradicional. Os estudos foram realizados nos manguezais de Baguaçu, Nóbrega e Sítio Grande (Figura 2, Tabela I).

Escalas Espaciais

Nos estudos de caso foram utilizadas as seguintes ferramentas: imagens de satélite Landsat (1:450.000), fotografias aéreas (de 1:8.000 à 1:35.000) e parcelas fixas (de 2x2m à 20x20m) para análise espaço-temporal dos manguezais nos estudo de caso. As características das ferramentas utilizadas em cada estudo de caso são apresentadas na Tabela II. Foram utilizadas, também, cartas topográficas de cada área de estudo, na escala 1:50.000, para vetorização da hidrografia (rios e gamboas), ilhas arenosas emersas (baixios), estradas e oleoduto.

Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica

Para o tratamento das imagens de satélite e das fotografias aéreas foi utilizado o programa freeware SPRING (Sistema de Processamento de Informações Geográficas – INPE). Esse Sistema de Informação

Tabela II - Características das ferramentas utilizadas nos estudos de caso em manguezais, nos setores do litoral do Estado de São Paulo.

Table II –Characteristics of the GIS tools utilized at the mangrove study- cases at the State of Sao Paulo's littoral sectors.

Setor do Litoral	Área Estudada	Características das Ferramentas Utilizadas		
		Imagem de Satélite	Fotografia Aérea	Parcela (**)
Norte	Praia Dura	---	1:8.000 (1979); 1:35.000 (1997)	12x5 a 10x10
Baixada Santista	C. de Bertioga	---	1:25.000 (1962); 1:25.000 (1994)	2,5x5 a 10x10 (*)
	I. Barnabé	---	1:25.000 (1962, 1972 e 1994); 1:10.000 (2003)	2x3 a 10x15 (*)
Sul	Baguaçu			
	Nóbrega	1:450.000	1:35.000 (1981 e 1997)	
	Sítio Grande	(1986 e 1999)		2x2 a 20x20 (*)

(*) monitoramento da estrutura de bosques de mangue.

(**) menor e maior áreas das parcelas, em metros.

Geográfica (SIG) foi desenvolvido a partir de 1991, a fim de monitorar alterações em áreas naturais e antrópicas no Brasil (Câmara et al., 1996). Como técnica de correção geométrica, foram realizados os registros das imagens de satélite e das fotografias aéreas a partir da digitalização de cartas topográficas e de dados obtidos em trabalhos de campo, com o equipamento GPS (Global Positioning System) marca GARMIN, modelo 48, com 12 canais, datum SAD 69. Técnicas de correção geométrica eliminam erros do terreno e dessa forma possibilitam a integração de dados de diferentes datas.

Imagens de satélite

Para o setor do Litoral Sul, foram utilizadas imagens de satélite MSS/Landsat e TM/Landsat 5, WRS 220/77, Quadrante D, de 14/09/1986 e 02/09/1999, respectivamente. As bandas utilizadas foram TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5. Foram obtidas as composições coloridas RGB TM3/TM2/TM1, TM4/TM3/TM2, TM5/TM4/TM3 para os anos de 1986 e 1999, e identificada aquela que melhor realçasse os alvos de interesse – manguezal e feições de sedimentação. No SIG foram utilizadas as técnicas convencionais de processamento de imagens digitais, divididas em pré-processamento, realce e classificação. A classificação consiste em individualizar alvos na

imagem a partir de seu agrupamento por similaridade espectral. Na classificação supervisionada deve-se realizar um “treinamento”, onde serão escolhidas as “amostras de treinamento”, que apresentem o comportamento médio de cada classe que será mapeada automaticamente. O conhecimento prévio da região estudada é fundamental para a etapa de “treinamento” (Novo, 1992). Foram realizadas classificações supervisionadas de máxima verossimilhança (MAXVER).

Fotografias aéreas

Algumas fotografias aéreas utilizadas no presente estudo já se encontravam em formato digital. Para as fotografias aéreas em formato papel, foi realizado escaneamento em scanner AO, modelo ScanPlus III (1200t), com resolução de 600dpi (dots per inch – pontos por polegada).

Após sofrerem escaneamento em 600dpi fotografias com escalas de 1:35.000, 1:25.000 e 1:8.000 resultaram em imagens com tamanho de pixel no terreno, ou seja resolução espacial, equivalente a 1,50m, 1,06m e 0,34m, respectivamente, aplicando-se o seguinte cálculo:

$$\text{resolução(m)} = \frac{2,54(\text{cm}) \times \text{escala da fotografia}}{\text{dpi}}$$

Tabela III - Características das parcelas fixas para monitoramento da estrutura dos bosques de mangue, estudos de caso em três setores do litoral do Estado de São Paulo.

Table III – Characteristics of the fix plots utilized for monitoring the mangrove stands structure, case-studies in three of the State of Sao Paulo's littoral sectors.

Setor do Litoral	Área Estudada	Características das Parcelas de Estrutura e Monitoramento		
		Área das parcelas (**)	Número de parcelas	Período
Norte	Praia Dura	5x2 a 10x10	6	Mar/2001 e Jul/2001
Baixada Santista	C. de Bertioga	2,5x5 a 10x10	3	Mai/1999, Jun/2000, Mai/2003 e Mai/2004
	I. Barnabé	2x3 a 10x15	5	Fev/2002; Jun/2002; Out/2002; Fev/2003; Jun/2003; Out/2003; Fev/2004; Jun/2004; Out/2004; Fev/2005; Jun/2005; Out/2005; Fev/2006; Jun/2006; Out/2006; Fev/2007; Jun/2007; Out/2007;
Sul	Sítio Grande Baguaçu e Nóbrega	2x2 a 20x20	11	Fev/2001; Nov/2001; Mai/2002; Nov/2002; Mai/2003; Nov/2003; Mai/2004; Nov/2004

(**) menor e maior área das parcelas, em metros.

Nessa área de estudo, a cobertura vegetal de bosques de mangue é dominada por *Laguncularia racemosa*. O bosque de menor desenvolvimento estrutural, apresenta codominância de *L. racemosa* e *Rhizophora mangle* (com 2,7 m²/ha de área basal total de troncos vivos), ficando próximo a um micro canal, sobre substrato resultante de assoreamento recente de uma gamboa. O bosque de maior desenvolvimento estrutural, dominado por *L. racemosa* (com 31,7 m²/ha de área basal total de troncos vivos), foi registrado às margens do Rio Escuro, onde o sedimento é predominantemente arenoso.

Baixada Santista

Trecho sul do Canal de Bertioga

No trecho sul do Canal de Bertioga, os manguezais vêm sendo alvos de diferentes tipos de tensores resultantes do processo de ocupação humana. A classificação e análise espaço-temporal de fotografias aéreas revelaram que essa paisagem sofreu drásticas alterações, com diferentes contornos de uso e ocupação do solo, entre os anos de 1962 e 1994.

Na margem continental do Canal de Bertioga constatou-se que as construções da Rodovia Rio-

Santos (BR-101) e do oleoduto da Petrobrás ocorreram sobre áreas de floresta atlântica, e que a expansão da mancha urbana atingiu áreas de floresta atlântica e manguezal. Em outubro de 1983, em decorrência da abertura desta rodovia, ocorreu o rompimento deste oleoduto, com derrame de cerca de 3,5 milhões de litros de petróleo bruto, o qual atingiu cerca de 100Km² da zona costeira do Município de Bertioga (Schaeffer-Novelli, 1986).

Na margem insular do canal (Ilha de Santo Amaro), evidenciou-se expansão da ocupação humana pela introdução de estruturas náuticas sobre áreas de floresta atlântica e principalmente manguezais. Quantificou-se uma supressão de aproximadamente 107,3ha de área de manguezal dessa margem, que fez uma eliminação de 78,4% da cobertura de manguezal original. Em consequência observou-se um incremento de 59,4ha da área ocupada por estruturas de apoio náutico como: garagens náuticas, estaleiros e marinas. Este tipo de ocupação antrópica resultou numa subdivisão da mancha inicial de vegetação, gerando fragmentos de áreas de manguezal (Santos et al., 2007).

Segundo Lomolino & Perault (2001) a fragmentação de habitats é um processo caracterizado pela alteração na configuração espacial e funcional de um determinado habitat que após intervenções geralmente antrópicas tenderá a apresentar formato, área e funcionamento diferentes da sua condição original.

Ilha Barnabé

Originalmente, a Ilha Barnabé era ocupada por manguezais em quase toda sua extensão, porém vêm sofrendo desde a década de 50 sérios impactos antrópicos. Diversos acidentes envolvendo produtos químicos acarretaram impactos diretos e indiretos ao ecossistema manguezal de diferentes magnitudes e intensidades, destacando o evento ocorrido em setembro de 1998 envolvendo o produto químico DCPD (diciclopentadieno) em combustão (Menghini, 2004).

Empreendimentos voltados as operações portuárias do Porto de Santos também vêm acarretando sérios impactos aos manguezais da Ilha Barnabé. A classificação e análise espaço-temporal de fotografias aéreas entre os anos de 1962 e 2003

revelaram as construções de rodovia e ferrovia de acesso a ilha, expansão de áreas portuárias e retificação de canal. Estas intervenções humanas se mostraram responsáveis pela perda de extensas áreas de manguezais devido a alagamentos, aterros, corte de vegetação e alterações na hidrodinâmica local, resultando na formação de diversas clareiras no dossel da vegetação, onde o ecossistema manguezal mostrou parcial capacidade de recomposição natural (Menghini et al., 2007).

Cabe destacar ainda a intenção do órgão federal que controla as operações do Porto de Santos (CODESP - Companhia Docas do Estado de São Paulo), em ampliar a área portuária sobre os manguezais remanescentes em processo de recomposição natural da Ilha Barnabé e no seu entorno, por meio de empreendimentos de expansão portuária (CODESP, 2006). A partir de mapeamento realizado na Baixada Santista, Sartor et al. (2007) afirmam que a região ainda é utilizada como importante área de reprodução de peixes, aves e invertebrados.

Schaeffer-Novelli et al. (2000) alertam para a necessidade de medidas de conservação, gestão e recuperação de manguezais urbanos, os quais se encontram sob grande pressão antrópica. Aqueles autores propõem o desenvolvimento de estudos a longo termo avaliando as alterações de origens antrópicas e naturais nesse ecossistema costeiro.

Litoral Sul

No setor sul do litoral do Estado de São Paulo, observa-se que os manguezais respondem ativamente aos processos deposicionais, característicos da região. Ferramentas multitemporais, como imagens de satélite, fornecem uma visão dinâmica das alterações que se processam ao nível da paisagem, sendo fundamental a aplicação destas para o planejamento, monitoramento e gestão ambientais. A composição colorida TM4/TM3/TM2 mostrou-se mais adequada para estudos de dinâmica do ecossistema manguezal, uma vez que realça as áreas de deposição de sedimento, consideradas como sendo de possível ocupação por espécies vegetais típicas de mangue e por *Spartina alterniflora*, gramínea associada à bosques de mangue em áreas deposicionais. As comparação entre as imagens de satélite de 1986 e 1999 permitiram

a confirmação das áreas de maior deposição ao longo dos canais lagunares, sobretudo nos meandros do Mar de Cananéia. As feições sedimentares na desembocadura dos rios Mandira, Itapitangui e Taquari foram destacadas, configurando formas deposicionais (Cunha-Lignon, 2001).

Em relação ao tratamento de fotografias aéreas em série temporal, Cunha-Lignon & Schaeffer Novelli (no prelo) apresentam descrição detalhada da variação espaço-temporal das áreas colonizadas por bosques de mangue. Segundo aquelas autoras, a comparação entre as classificações das fotografias aéreas revelou aumento das áreas de manguezal, em 16 anos, em função do aumento das áreas de deposição de sedimentos ao longo das margens dos canais lagunares.

O monitoramento das parcelas fixas possibilitou a análise da estrutura, zonação e sucessão de bosques de mangue, assim como o recrutamento de plântulas. Novas áreas de bancos de sedimento foram colonizadas, primeiramente por *S. alterniflora* e, posteriormente por *L. racemosa*, no Mar de Cananéia (áreas de estudo Nóbrega e Baguaçu), enquanto que na Baía de Trapandé (área de estudo Sítio Grande), *R. mangle* colonizou áreas em progradação (Cunha-Lignon, 2005).

5. CONCLUSÕES

Os manguezais do Estado de São Paulo sofreram distintas alterações ao longo do tempo, em função de cada trecho de segmento de costa. Os diversos estudos de caso analisados forneceram informações das alterações espaço-temporais na paisagem e nos bosques de mangue.

No litoral Norte e na Baixada Santista, as análises espaço-temporais revelaram que a paisagem sofreu marcadas alterações de origem antrópica, no espaço e no tempo. No Litoral Norte destacou-se o incremento de casas de veraneio instaladas sobre o manguezal e a vegetação de restinga, ambas áreas de preservação permanente. Na Baixada Santista, trecho sul do Canal da Bertioiga, observou-se expansão da mancha urbana e introdução de estruturas náuticas, gerando redução e fragmentação da área inicial da vegetação. Ainda na Baixada Santista, na Ilha Barnabé, observou-se a construção de rodovia e ferrovia, expansão portuária e retificação de canal provocando

perda de extensas áreas de manguezal por aterros, alagamentos, cortes de vegetação e alterações da hidrodinâmica local.

No Litoral Sul, encontram-se os manguezais mais conservados do Estado de São Paulo. As diferentes ferramentas de escalas espaço-temporais mostram que os bosques de mangue respondem positivamente à deposição sedimentar nas faces convexas dos canais lagunares. Nesse segmento do litoral, novos bosques de mangue foram identificados e monitorados, em parcelas fixas, ao longo do tempo.

Na escala da unidade de paisagem, a análise de série temporal de fotografias aéreas foi realizada em todos os estudos de caso para avaliação das respostas da cobertura vegetal dos manguezais à dinâmica sedimentar e aos impactos antrópicos de diversas origens. Fotografias aéreas continuam se apresentando como ferramentas importantes para monitoramento da ocupação humana na zona costeira, visto o baixo custo (em relação às imagens de satélite de alta resolução), escalas maiores (em relação à imagens de satélite de uso mais comum, como as imagens do satélite Landsat) e a possibilidade de apresentarem informações espaço-temporais anteriores aos levantamentos de dados em campo. As informações geradas por meio do uso dessa ferramenta é fundamental para elaboração de estratégias para conservação de áreas de preservação permanente.

O monitoramento dos bosques de mangue, com verdade de campo, mostrou-se fundamental para interpretar os padrões de zonação, sucessão e dinâmicas espaço-temporais do ecossistema manguezal.

A aplicação das ferramentas descritas e discutidas no presente estudo contribuiu para a obtenção de grande número de informações sobre dinâmica e as alterações antrópicas dos manguezais, as quais são imprescindíveis para a elaboração de planos de gestão e conservação da zona costeira do Estado de São Paulo (Brasil), com vistas a conservação dos recursos naturais e da paisagem da zona costeira do Estado de São Paulo.

AGRADECIMENTOS

Às agências de financiamento brasileiras FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), Processos N^{os} 01/13477-2 (Doutorado) e 06/

57503-0 (Iniciação Científica) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), Processo N° 140090/2005-3 (Doutorado).

BIBLIOGRAFIA

Asmus, M. L., Kitzmann, D., Laydner, C. & Tagliani, C. R. A. (2006). - Gestão Costeira no Brasil: Instrumentos, fragilidades e potencialidades. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 5: 52-57. (http://www.gci.inf.br/edicoes_especiais/politicas_publicas/artigo10_10.pdf)

Blasco, F., Gauquelin, T., Rasolofoharino, M., Denis, J., Aizpuru, M. & Caldairou, V. (1998) – Recent advances in mangrove studies using remote sensing data. *Marine and Freshwater Research*, 49 (4): 287-296. (doi:10.1071/MF97153)

Câmara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M. & Garrido, J. (1996) - SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers & Graphics*, 20 (3): 395-403. (doi:10.1016/0097-8493(96)00008-8)

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) (1991) - Avaliação do estado da degradação dos ecossistemas da Baixada Santista – SP. Relatório Técnico, 45 p., São Paulo, SP, Brasil.

Cintrón, G. & Schaeffer-Novelli, Y. (1984) – Methods for studying mangrove structure. In: Snedaker, S.C. & Snedaker, J.G. eds., *The mangrove ecosystem: research methods*. UNESCO, 251 p., Bungay, UK.

CODESP - Companhia Docas do Estado de São Paulo (2006) - Plano de Desenvolvimento e Zoneamento do Porto de Santos – PDZPS, 179 p.

Cunha-Lignon, M. (2001) - Dinâmica do manguezal no Sistema de Cananéia-Iguape, Estado de São Paulo – Brasil. Dissertação de Mestrado, 105 p., Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, SP, Brasil. (<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21131/tde-20032002-105936>)

Cunha-Lignon, M. (2005) - Ecologia de manguezais: desenvolvimento espaço-temporal no Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, São Paulo, Brasil. Dissertação de Doutorado, 178 p., Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, SP, Brasil. (<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21131/tde-06022006-121128/>)

Cunha-Lignon, M. & Schaeffer-Novelli, Y. (no prelo) - Análise digital de fotografias aéreas em bosques de mangue em progradação (Mar de Cananéia, Estado de São Paulo). *Revista de Gestão Costeira Integrada*. Número Especial sobre o Ecossistema Manguezal. (no prelo).

Dahdouh-Guebas, F. (2002) - The use of remote sensing and GIS in the sustainable management of tropical coastal ecosystems. *Environment, Development and Sustainability*, 4: 93-112. (doi:10.1007/s10668-006-9049-0)

Dugan, P.J. (1992) - Conservación de humedales: un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias. IUCN, 100 p., Gland, Suíça,

Duke, N.C., Meynecke, J.-O., Dittmann, A.M., Ellison, A.M., Anger, K., Berger, U., Cannicci, S., Diele, K., Ewel, K.C., Field, C.D., Koedam, N., Lee, S.Y., Marchand, C., Nordhaus, I. & Dahdouh-Guebas, F. (2007) - A world without mangroves? *Science*, 317(5834): 41-42. (doi: 10.1126/science.317.5834.41b)

Governo do Estado de São Paulo (1998) – Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro. Lei N° 10.019, de 03 de julho de 1998. São Paulo, SP, Brasil.

Herz, R. (1991) *Os manguezais do Brasil*. 233p., Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.

Lomolino, M. V. & Perault, D. R. (2001) – Island biogeography and landscape ecology of mammals inhabiting fragmented, temperate rainforests. *Global Ecology and Biogeography*, 10(2):113-132. (doi: 10.1046/j.1466-822x.2001.00221.x)

Menghini, R. (2004) - Ecologia de manguezais: grau de perturbação e processos regenerativos em bosques de mangue da Ilha Baranabé, Baixada Santista, São Paulo, Brasil. Dissertação de Mestrado, 98 p., Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21131/tde-17012008-132817/>)

Menghini, R., Cunha-Lignon, M., Coelho-JR., C. & Schaeffer-Novelli, Y. (2007) - Análise temporal dos impactos antrópicos e da regeneração natural em manguezais da Ilha Barnabé (Baixada Santista, SP, Brasil) obtida através de fotografias aéreas. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, CD-ROM, 8p., Florianópolis, SC, Brasil. (<http://www.ltid.inpe.br/sbsr2007/>).

- Mesquita, A.R. de & Harari, J. (1983) - Tides and gauges of Cananéia and Ubatuba. *Relat. Int. Inst. Oceanogr. Univ. S. Paulo*, 11:1-14.
- Ministério da Marinha (1984) - Tábua de Marés. Diretoria de Hidrografia e Navegação.
- Novo, E.M.L.M. (1992) - Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 2ª edição, Editora Edgard Blucher, São Paulo, Sp, Brasil. 308p. (ISBN 8521200579)
- Poffo, I. (2007) - Gerenciamento de riscos socioambientais no Complexo Portuário de Santos na ótica ecossistêmica. Dissertação de Doutorado, 159p., Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-08042008-091817/>).
- Presidência da República do Brasil. (1988) – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, Lei No 7661, de 16 de maio de 1988. Acessível em (http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7661.htm).
- Santos, E.O. (1965) - Características climáticas. In: Azevedo, A. (coord.), *A Baixada Santista. Aspectos Geográficos*, vol. 1. As Bases Físicas, cap. 4, pp. 95-150, Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil.
- Santos, L.C.M.; Cunha-Lignon, M. & Schaeffer-Novelli, Y. (2007) - Áreas de manguezal em um trecho do Canal da Bertioga (Baixada Santista, Brasil): alterações espaço-temporais pela introdução de estruturas náuticas. *Anais do XII Congresso Latinoamericano de Ciências do Mar*, CD-ROM, 3p.
- Sartor, S.M., Hans, M.F.P., Palm, L., Sartor, L.M. & Leão, A.L. (2007) – Coastal Marine Mapping as an ecosystem based management – the case study of the Baixada Santista region – São Paulo, Brazil. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 50:1178-1182.
- Schaeffer-Novelli, Y. (1986) - Rompimento de oleoduto. Avaliação de impacto ambiental no Canal da Bertioga – SP. Perícia de Juízo. Ministério Público do Estado de São Paulo. Laudo Pericial. São Paulo, SP, Brasil. <http://www.projetobiosfera.com.br>. (acessado em Mai 2006).
- Schaeffer-Novelli, Y. (1991) - Manguezais brasileiros. Tese de Livre Docência, 42p., Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil.
- Schaeffer-Novelli, Y. & Cintrón, G. (1986) - Guia para estudos de áreas de manguezal: estrutura, função e flora. São Paulo, Caribbean Ecological Research, 150p. + apêndices.
- Schaeffer-Novelli, Y., Cintrón, G., Cunha-Lignon, M. & Coelho-Jr., C. (2005) - A conceptual hierarchical framework for marine coastal management and conservation: a Janus-like approach. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 42:1-7.
- Schaeffer-Novelli, Y.; Cintrón-Molero, G.; Soares, M.L. & De-Rosa, M.M.P.T. (2000) – Brazilian mangroves. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 3(4): 561-570. (doi:10.1016/S1463-4988(00)00052-X)
- Silva, J.F. (1989) - Dados climatológicos de Cananéia e Ubatuba (Estado de São Paulo). *Boletim climatológico do Instituto Oceanográfico*, 6: 1-21, Universidade de São Paulo, SP, Brasil.
- Tessler, M.G. & Mahiques, M.M. (1998) – Erosional and depositional processes on the Southern Coast of the State of Sao Paulo: a case study of Cananea-Iguape System. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70(2):267-275, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.