

MAPEAMENTO DOS ÍNDICES DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO EM TRECHO DO RIO TIETÊ

Cristina Aparecida BENEDITTI¹; Paulina Setti RIEDEL¹; Cenira Maria LUPINACCI²; João Carlos de Carvalho MILANELLI³; Ramon Lucato de AGUILAR²

(1) Departamento de Geologia Aplicada, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP/Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506 – 900. Rio Claro – São Paulo. Endereços eletrônicos: crisengamb@gmail.com; psriedel@rc.unesp.br.

(2) Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento, UNESP/Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 13506 – 900. Rio Claro – São Paulo. Endereços eletrônicos: rluatodeaguilar@gmail.com; cenira@rc.unesp.br.

(3) Milanelli Consultoria Ambiental – São Paulo - SP. Endereço eletrônico: jmilanelli@gmail.com

Introdução
Caracterização da área de estudo
Materiais e métodos
Resultados e discussão
Conclusões
Referências bibliográficas

RESUMO – Os impactos causados por acidentes envolvendo o derramamento de óleo em corpos d'água afetam o meio ambiente como também provocam prejuízos socioeconômicos para a população local. De forma a contribuir na identificação de ambientes físicos mais sensíveis à presença de um hidrocarboneto, este trabalho foi elaborado aplicando uma classificação de índices de sensibilidade ambiental ao óleo para ambientes fluviais (ISF), adaptado do ambiente costeiro. Para atingir este objetivo, foi selecionado trecho do rio Tietê, onde foram realizados levantamentos de campo percorrendo de barco 146,9 km das margens do rio. Foram levantadas as características geomorfológicas marginais, identificados com GPS o início e o final de cada segmento, os quais foram registrados com fotos. A organização dos dados em um SIG e a classificação do ISF permitiram identificar que o índice 10, caracterizados por depósitos aluviais, esteve presente em 51,1 km de margens, o que equivale a 34,8% do total, sendo o mais recorrente na área de estudo. No entanto, considerando conjuntamente os índices do grupo 9 e 10, os mais sensíveis, um total de 40,5% das margens foram consideradas com alta sensibilidade ambiental ao óleo, sendo que estes ambientes estão relacionados ao barramento do rio Tietê para a construção do reservatório de Barra Bonita.

Palavras-chave: Sensibilidade ambiental ao óleo, geomorfologia fluvial.

ABSTRACT - The impacts caused by accidents involving oil spills in freshwater affect the environment but also cause socioeconomic harm to local people. In order to help identifying physical environments sensitive to the presence of a hydrocarbon, this study was carried out by applying a fluvial sensitive environmental index to oil (ISF), adapted from the coastal environment. To achieve this goal, a Tiete river stretch was selected, where field surveys were carried out covering by boat 146.9 km of the river. Marginal geomorphological characteristics were observed, and the beginning and the end of each segment were identified with GPS and recorded with photographs. The organization of a GIS database and the classification of the ISF enabled to identify that the index 10, characterized by alluvial deposits, is present in 51.1 km of the banks, which is equivalent to 34.8% of the total area, the most recurrent index in the study area. However, considering the ISF 9 and 10, the most sensitive ones, a total of 40.5% of the river margins is considered with high environmental sensitivity to oil, and these settings are related to the dam of Tietê river for the construction of Barra Bonita reservoir.

Keywords: Environmental sensitivity to oil, fluvial geomorphology.

INTRODUÇÃO

Os acidentes envolvendo derramamentos de óleo estão relacionados ao transporte e distribuição de hidrocarbonetos utilizados em diversos setores da economia mundial. Os principais meios desta distribuição são o transporte rodoviário, aquaviário, oleodutos e gasodutos e, nestes trajetos, imprevistos podem ocasionar a contaminação do meio ambiente.

Os impactos causados por um acidente não só afetam o meio ambiente, mas também provocam prejuízos de ordem socioeconômica, que afetam a população local e regional. Além do desequilíbrio “in loco”, “derrames de óleo, principalmente aqueles que trazem prejuízos

ambientais e socioeconômicos pelo volume ou tipo de produto envolvido, ou pela área atingida, causam elevada comoção e repercussão social” (LOPES; MILANELLI; POFFO, 2006, p.11).

Atualmente, as informações das áreas que são mais sensíveis ao óleo estão disponíveis nas cartas de sensibilidade ao óleo, conhecidas como cartas SAO. Estas cartas têm como objetivo caracterizar as áreas costeiras marinhas e terrestres, sob jurisdição nacional, para auxiliar a reduzir as consequências ambientais de vazamento de óleo e orientar os trabalhos de contenção e limpeza da área.

As Cartas SAO surgiram na década de 70 e foram primeiramente utilizadas para planejamento e gestão de áreas costeiras, sendo que os primeiros métodos para sua classificação foram desenvolvidos por Michel et al (1978) e Gundlach e Hayes (1978).

Em março de 1989, ocorreu um dos maiores acidentes ambientais da história, quando o petroleiro Exxon Valdez derramou cerca de 53 milhões de galões de óleo durante um encalhe na rota do Alasca (EUA) para a Califórnia (EUA) (NOAA, 1992). Este acidente ocasionou a morte de milhares de animais e prejudicou a população ao redor que se sustentava da pesca. (LEACOCK, 2005)

A partir deste acidente, a elaboração das cartas SAO começou a ser difundida e, de modo a padronizar o seu uso nos Estados Unidos, a agência federal americana NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*), estabeleceu um manual de orientação para a elaboração do mapeamento de sensibilidade a derrames de óleo na zona litorânea (NOAA, 2002).

No Brasil, a primeira tentativa de adaptar e elaborar cartas SAO foi realizada por Araújo et al. (2002). Posteriormente, o Ministério do Meio Ambiente, baseando-se nas propostas da NOAA (2002), elaborou um documento oficial visando padronizar a elaboração das Cartas de Sensibilidade Ambiental, Cartas SAO (BRASIL, 2004), adaptando-as à realidade do Brasil. Em seguida, o próprio Ministério do Meio Ambiente (MMA), utilizando suas diretrizes, realizou o mapeamento das Bacias Ceará e Potiguar (BRASIL, 2004), Bacia de Santos (BRASIL, 2007) e das Bacias dos Estados do Espírito Santo (BRASIL, 2010) e Bahia (BRASIL, 2012).

O documento oficial disponibilizado pelo MMA estabelece que as cartas SAO devem

incluir três tipos de informações principais: sensibilidade ambiental do litoral ao óleo, definida por um Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL); recursos biológicos sensíveis ao óleo existentes na área da carta; atividades socioeconômicas que podem ser prejudicadas por derramamentos de óleo.

Os índices de sensibilidade do litoral (ISL) classificam a linha de costa, hierarquizando o contorno em uma escala de 1 a 10, sendo que quanto maior o índice mais sensível o ambiente. Este índice é baseado nas características geomorfológicas da costa, considerando o grau de exposição à energia de ondas e mares, a declividade do litoral e o tipo do substrato, o que determina o alcance e o tempo de permanência do óleo.

As normas e nomenclaturas estabelecidas pelo Ministério do Meio Ambiente são voltadas para o ambiente costeiro, onde o número e a magnitude dos acidentes são maiores. Porém, estes eventos não são exclusivos de áreas litorâneas. Têm ocorrido também nas águas interiores e, portanto, é necessário o estabelecimento de normatização para a elaboração de cartas SAO para estes ambientes. Alguns trabalhos foram desenvolvidos contemplando o mapeamento de ambientes fluviais (FERREIRA & BEAUMORD, 2008; ARAUJO et al., 2006; HAYES et al., 1997; MICHEL et al., 1994; HAYES et al., 1995) e, dentre esses, as pesquisas que estão sendo desenvolvidas pelo grupo “Sensibilidade Ambiental a Derrames de Petróleo – UNESP/RC”.

Desta forma, este trabalho visa o mapeamento do índice de sensibilidade ambiental ao óleo em ambiente fluvial, para subsidiar a elaboração de cartas SAO e auxiliar nas tomadas de decisões.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho está localizada na região central do estado de São Paulo e abrange o trecho do baixo rio Tietê, entre o núcleo urbano de Anhembi (SP) e a

ponte da rodovia SP - 191 no reservatório de Barra Bonita. O principal tributário na área de estudo é o rio Alambari, conforme mostra a Figura 1.

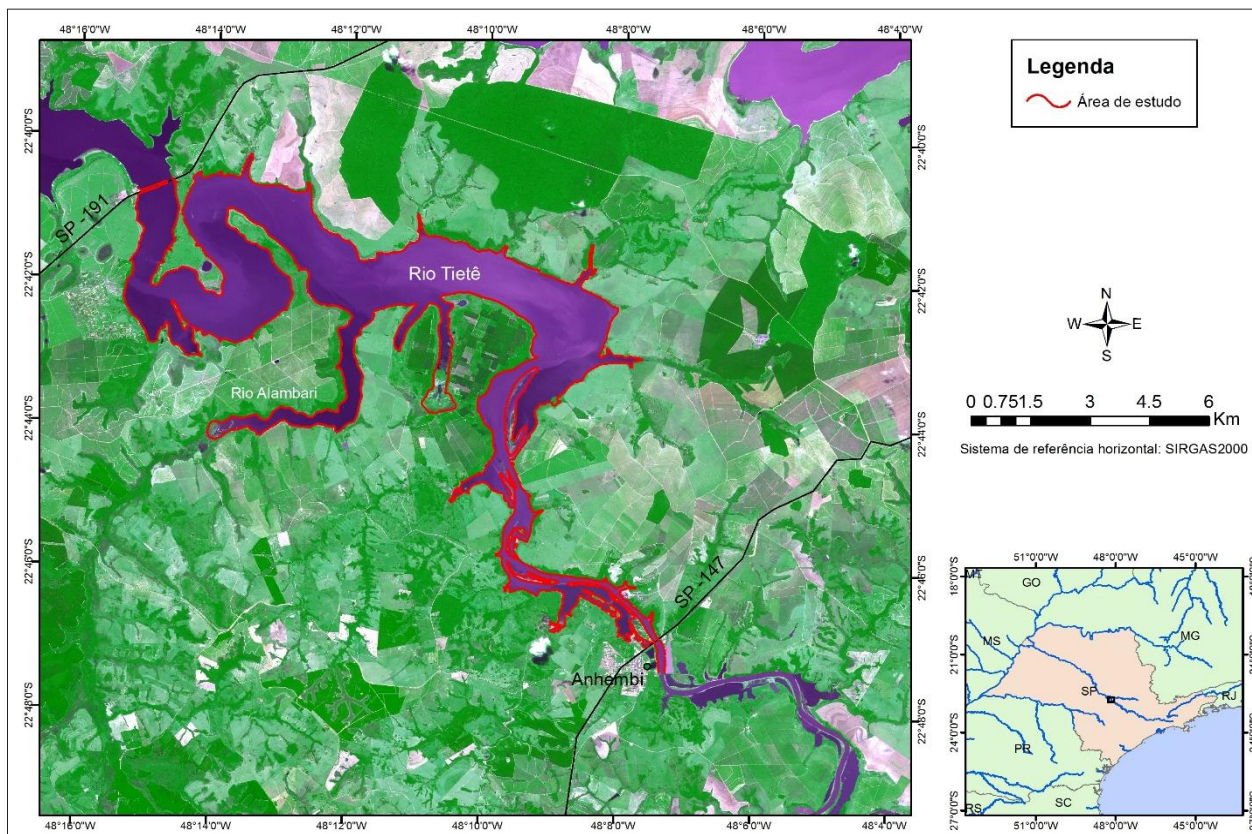


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Este trecho faz parte da hidrovia Tietê-Paraná, onde está inserido o porto intermodal de Anhembi-SP, por onde trafegaram 267 toneladas de grãos, açúcar e farelo de soja, segundo o último relatório da Administração da Hidrovia do Paraná (AHRANA, 2011)

A área faz parte, de forma integral, da Bacia Sedimentar do Paraná, que abrange a parte centro-ocidental do Estado de São Paulo. Trata-se de uma bacia com material acumulado de gênese distinta, abrangendo litologias sedimentares de origem marinha, flúvio-lacustre e desértica, datadas do Paleozóico e do Mesozóico (ALMEIDA, 1956; IPT, 1981a).

Na área de estudo ocorrem as formações Piramboia e Teresina. A Formação Piramboia compreende a sucessão de camadas arenosas e avermelhadas, de granulação fina e maior fração de argila nas camadas inferiores, chegando a areno-conglomerados nas porções superiores (IPT, 1981a). Estende-se de maneira contínua por todo o Estado de São Paulo, aflorando na Depressão Periférica Paulista e possui espessuras superficiais máximas registradas de 270 metros nas adjacências de São Pedro e Anhembi (CAETANO-CHANG; WU, 2003). Esta formação ocorre na maior

parte da área de estudo e tem alta permeabilidade, do que decorre uma alta capacidade de infiltração do óleo. São solos que possuem alta suscetibilidade à erosão pluvial, alta capacidade de lixiviação e percolação lateral e baixa capacidade de adsorção catiônica.

A Formação Teresina, menos permeável, ocorre em pequena porção da área de estudo, na região próxima a Anhembi (SP) e é constituída por argilitos, folhelhos e siltitos cinza-escuros e esverdeados, ritmicamente intercalados com arenitos muito finos, cinza-claros. (KREBS, 2002).

A partir de uma litologia predominantemente argilosa a arenosa e tendo em vista uma superfície suficientemente bem drenada e pouco movimentada, predominam na região sudeste da área de estudo os argissolos sobre a formação Piramboia, com concentração de argila na camada inferior. São solos que possuem alta suscetibilidade à erosão pluvial, alta capacidade de lixiviação e percolação lateral e baixa capacidade de adsorção catiônica (IPT, 1981a).

As formas de relevo presentes no trecho estudado inserem-se nos grupos definidos pelo

IPT (1981) como *Relevos de Agradação* e *Relevos de Degradação, em Planaltos Dissecados*. No primeiro grupo incluem-se os depósitos aluviais, adjacentes ao rio Tietê e ao baixo curso de seus tributários. No segundo grupo incluem-se trechos de *Colinas Amplas*, definidas por interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados e vertentes com perfis retilíneos a convexos; além de faixa de *Morrotes Alongados e Espigões*, definidos

por interflúvios sem orientação bem marcada, topos achatados a angulosos e vertentes ravinadas com perfis preferencialmente retilíneos e colinas amplas, gradualmente convertendo-se em *Colinas Médias*. Estas diferem das primeiras por apresentarem interflúvios com superfície entre 1 a 4 km. As altimetrias predominantes estão entre 500 e 650m, enquanto as declividades predominantes variam entre 5 e 10% (IPT, 1981).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para classificar a área segundo os índices de sensibilidade ambiental (ISF), foi necessário realizar trabalho de campo para o levantamento de informações que subsidiaram a caracterização geomorfológica das feições marginais.

O período para a realização do campo foi baseado no regime de vazões do reservatório de Barra Bonita, uma vez que a área de estudo ainda encontra-se inserida neste ambiente, sofrendo influência da variação do nível de água controlada pela barragem. Este reservatório é de acumulação, sendo que seu funcionamento permite estocar água no período chuvoso para que, na estiagem, possa continuar com a geração de energia. Desta forma, regula a vazão e o nível de água, o que determina quando as áreas mais sensíveis a um derramamento de óleo ficam mais expostas.

A época mais crítica para o ambiente quanto à sensibilidade ambiental ao óleo ocorre quando o reservatório tem seu nível mais baixo, pois áreas mais sensíveis como barras de meandro, diques fluviais seguidos por terraços fluviais e planícies aluviais, depósitos aluviais e substrato lamoso, dentre outros, ficam expostas e mais vulneráveis à presença de contaminantes como o óleo.

Desta forma, foi calculada a média mensal do volume útil do reservatório de Barra Bonita durante o período de 1992 a 2012, utilizando dados cedidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Os dados foram analisados de modo a identificar qual mês possui níveis de menor volume útil do reservatório.

Nos trabalhos de campo, foi utilizado o GPS Garmin, modelo GPS12 para a aquisição das

coordenadas do ponto inicial e final de cada feição geomorfológica encontrada na área, que foi e individualizada como um segmento. Cada segmento foi descrito num ficha de campo e fotografado. As informações observadas para preenchimento da ficha estão relacionadas com as feições da dinâmica fluvial, pois são essas que determinam o ISF do segmento. A presença de vegetação arbustiva ou herbácea também foi observada, pois podem interferir na dinâmica do óleo no ambiente. Algumas das feições estão exemplificadas na Figura 2.

Os dados do GPS foram transformados do sistema de referência WGS84 para SIRGAS 2000 com sistema de projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*) zona 22S e inseridos em um SIG, no caso o ArcGis, versão 10.1, para a elaboração de um banco de dados, juntamente com todas as informações da ficha de campo. A imagem utilizada para mapeamento e apoio à classificação dos índices foi uma cena SPOT-5 ortorretificada e fusionada com resolução de 2,5m, referente ao mês de junho de 2010 e cedida pela Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo, assim como o Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução horizontal de 30 metros, gerado a partir das curvas de nível extraídas das cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Geográfico Geológico (IGG) e Departamento de Serviços Geográficos do Exército, na escala 1:50.000 (projeto GISAT). Como dado auxiliar para o mapeamento geomorfológico, foi utilizada a cena 220/076 do satélite LANDSAT 8, sensor OLI, de 29 de outubro de 2014, quando o estado de São Paulo passou por uma crise hídrica severa e, assim, foi possível confirmar algumas feições.

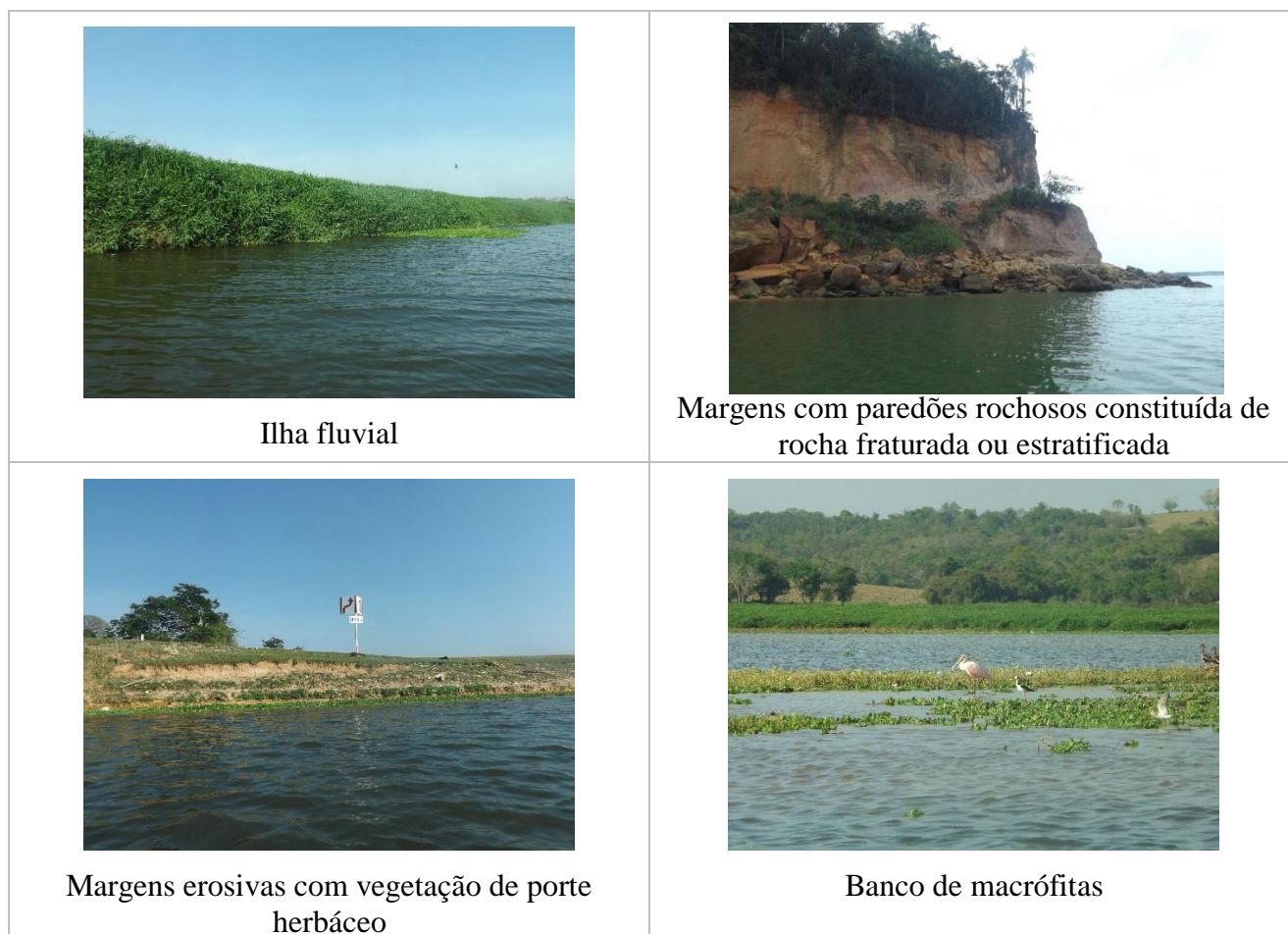


Figura 2. Feições marginais observadas em trabalho de campo.

Em seguida ao levantamento e caracterização das margens da área, cada segmento foi classificado segundo a tabela de índices de sensibilidade ambiental ao óleo em ambiente fluvial elaborada pelo grupo de pesquisa “Sensibilidade Ambiental a Derrames de Petróleo – UNESP/RC” da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Rio Claro-SP (Tabela 1). Este grupo tem buscado adaptar e desenvolver uma metodologia de mapeamento dos índices de sensibilidade para ambientes fluviais a partir dos trabalhos de HAYES, MICHEL e DAHLIN (1995), HAYES, MICHEL e MONTELLO (1997) e MICHEL, HAYES, DAHLIN e BARTON (1994) ARAUJO, et al (2006) e FERREIRA e BEAUMORD (2008). Um dos itens desta metodologia é a proposição de um sistema de classificação das margens dos ambientes fluviais quanto à sensibilidade a possíveis derramamentos de óleo, denominado Índice de Sensibilidade ao Óleo em ambiente fluvial (ISF).

O ISF foi construído a partir de uma adaptação do índice de sensibilidade ao óleo

para o litoral (ISL), baseando-se também nas características geomorfológicas, porém das feições fluviais e não do litoral. Em ambos os casos, são estas características que condicionam o tempo de permanência do óleo e a facilidade de limpeza e, desta forma, buscam avaliar a resposta do ambiente ao derramamento.

O tempo de permanência do óleo nos ambientes fluviais é controlado pela velocidade do fluxo; declividade das margens; sua granulometria, do que decorre a permeabilidade das margens; margens sujeitas a processos de deposição (margens deposicionais, onde são observadas até mesmo pequenas praias) ou de erosão (margens erosivas); presença de cobertura vegetal e enrocamentos nas margens, o que altera a infiltração; existência de diques marginais, barras de meandros e ilhas, que dificultam a livre circulação do óleo, podendo ficar preso em locais onde há presença de fauna ou locais de desova dos peixes. Da mesma forma que no ambiente costeiro, é levada em consideração a facilidade de auto limpeza do ambiente ou de utilização de procedimentos de limpeza, no caso de emergência. Também, tal

qual nos ambientes costeiros, os ISFs, juntamente com as informações do meio biótico e sócio econômico, constituem os elementos das Cartas SAO dos ambientes fluviais.

O ISF, da mesma forma que o ISL, pode variar de 1 a 10, sendo que o índice 1 indica ambiente com baixa sensibilidade e o 10 com alta sensibilidade. A Tabela 2 apresenta os ISFs resultantes do trabalho desenvolvido pelo citado grupo e que foram utilizados na presente

pesquisa. Segundo a proposta do grupo, os índices 9 e 10 foram subdivididos, de modo a representar melhor os ambientes de alta sensibilidade. Maiores informações sobre a representação dos ícones socioeconômicos e bióticos necessários para a elaboração das cartas SAO podem ser encontradas em Costa et al (2015), Martins (2012), Araujo et al (2006), Wieczorek (2005) e MMA (2004).

Tabela 1. Índices de Sensibilidade Fluvial ao óleo (ISF)

ÍNDICE	R	G	B	DESCRIÇÃO DO AMBIENTE	
1	119	38	105	Margens com paredões rochosos não fraturada Margens Construídas (paredões concretados) Pontes	
2	174	153	191	Margens com paredões rochosos constituída por rocha fraturada ou estratificada Soleiras fluviais com cachoeiras	
3	0	151	212	Margens erosivas seguidas de terraços (com meandros ou lagos) Soleiras fluviais com rápidos	
4	146	209	241	Margens erosivas seguidas por vertentes	
5	152	206	201	Margens deposicionais com areia (praias fluviais) Margens deposicionais com cobertura agrícola	
6	0	149	32	Margens deposicionais com cascalho (praias fluviais) Enrocamentos	
7	214	186	0	Ilhas fluviais Margens erosivas com vegetação de porte herbáceo	
8	225	232	0	Margens erosivas com vegetação de porte arbustivo	
9	a	245	202	122	Dique fluvial seguido por terraços fluviais ou vertentes
	b	222	145	36	Dique fluvial seguido por planícies aluviais
	c	235	143	23	Barras de meandro
	d	245	129	30	Barras de meandro alagadas
	e	235	112	0	Confluências com coalescência de planícies fluviais
10	a	225	0	0	Banco de macrófitas Depósitos aluviais com meandro abandonado - vegetação rasteira Depósitos e leques aluviais - vegetação herbácea
	b	176	6	14	Depósitos aluviais com meandro abandonado (mata) Depósitos e leques aluviais – mata Substrato lamoso
	c	117	6	12	Depósitos aluviais com lagos

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Realizada a análise da média mensal do volume útil do reservatório de Barra Bonita, durante o período de 1992 a 2012, tem-se pela análise da Figura 3, que o mês de menor volume de água no reservatório de Barra Bonita foi o de novembro com um volume de 55,5% da capacidade total.

Este reservatório é de acumulação de água da usina de geração de energia elétrica, ou seja,

a água represada é utilizada de acordo com a necessidade da usina e está diretamente relacionada com a precipitação. Quando há disponibilidade hídrica, a água é acumulada e utilizada pela hidrelétrica quando a quantidade de chuva for baixa. Por isso o volume mínimo do reservatório não é observado exatamente nos meses em que a precipitação é mais baixa (novembro a março).

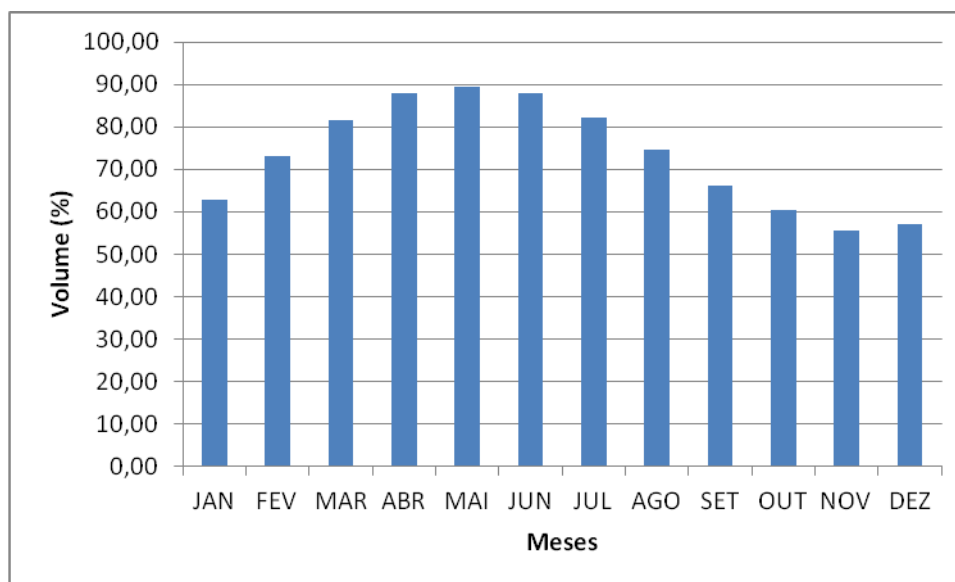


Figura 3. Média mensal do volume útil do reservatório de Barra Bonita entre 1992 e 2012. Fonte (ONS)

Desta forma, o trabalho de campo foi realizado no início de novembro de 2012 para o levantamento das características marginais, totalizando 146,9 km de trajeto considerando as duas margens da área de estudo. A classificação das margens segundo os índices de sensibilidade fluvial (ISF) resultou no mapa apresentado na Figura 4.

A tabela 2 apresenta o quantitativo dos índices de sensibilidade ambiental ao óleo em ambiente fluvial em quilômetros (km) e o quanto isto representa, em percentagem, do total da área mapeada.

Agrupando os índices 9a, 9b, 9c, 9d e 9e como índice 9 e os ISFs 10a, 10b, 10c como 10, observa-se que, dentre todos os ISFs, o mais mapeado na área foi o grupo 10, estando em 34,8% das margens, o que representa 51,1 km, seguido pelo ISF 5, com 19,3%. Os índices 9 e 10 são considerados os mais sensíveis e,

somados, representam 40,5% das margens da área de estudo com alta sensibilidade ao óleo, indicando que há uma região considerável para priorização nas medidas de contenção em caso de acidente envolvendo óleo.

Os ambientes característicos do grupo de ISF 9 são os diques fluviais e as barras de meandro. Os diques marginais possuem uma altitude maior em relação à planície de inundação e se formam com transbordamento do leito do rio nos períodos de cheia, uma vez que os sedimentos são depositados nestes locais devido à redução da velocidade da água. Segundo Stevaux e Santos (1998), isto provoca um acréscimo vertical dos depósitos formando o dique marginal. Como estas áreas não permanecem alagadas, há o desenvolvimento de vegetação e a presença de fauna, o que torna o local bastante sensível ao contato com o óleo.

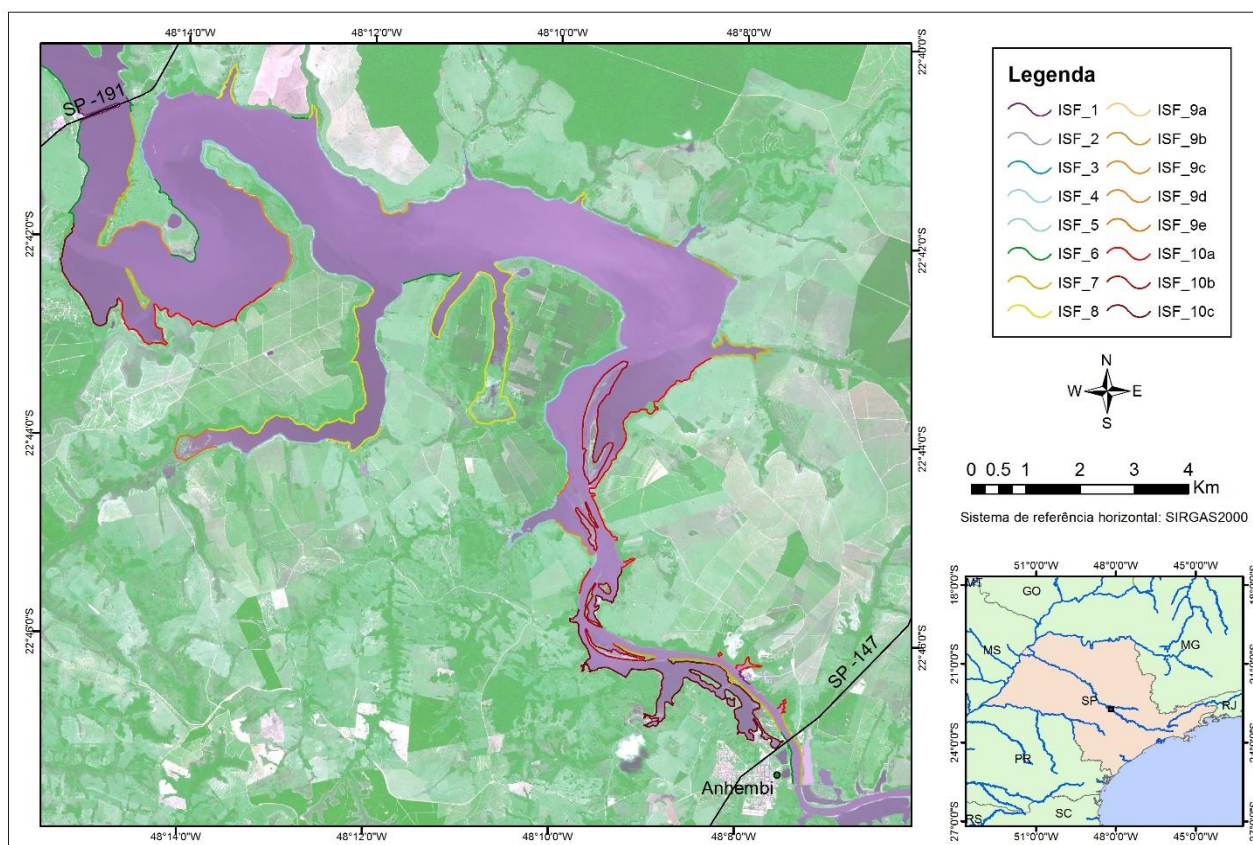


Figura 4. Índices de sensibilidade ambiental fluvial encontrados na área de estudo.

Tabela 2. Quantitativo dos ISFs da área.

ISF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Quantidade (km)	2.2	6.2	0	7.6	28.3	7.4	15.2	20.6	8.3	51.1
% do total	1.5	4.2	0	5.1	19.3	5.1	10.3	14	5.7	34.8

9a	9b	9c	9d	9e
0	1.1	0	4.8	2.4
0	0.8	0	3.3	1.6

10a	10b	10c
13.7	15.7	21.7
9.3	10.7	14.8

As barras se formam com a deposição dos sedimentos no período de cheia, mas ficam mais evidentes na seca e podem se modificar ao longo do tempo. Este ambiente é, muitas vezes, utilizado como berçário de algumas espécies de peixes, o que justifica a alta sensibilidade do ambiente.

O grupo de ISF 10 é correspondente aos depósitos aluviais, e foram identificados em 34,8% das margens. Estes locais são os mais sensíveis, pois possuem baixa velocidade de fluxo da água, o proporciona o acúmulo de grande quantidade de matéria orgânica proveniente do processo de sedimentação dos materiais. Isto propicia condições para presença de grande biodiversidade de flora e fauna,

sendo que a ocorrência de óleo nestas regiões teria um impacto bastante relevante.

A grande maioria dos índices 9 e 10 foi encontrada na região mais a montante da área de estudo, em um trecho meândrico do rio Tietê. Isto está muito relacionado ao barramento do rio para a construção da usina hidrelétrica de Barra Bonita a jusante, pois ocasionou a diminuição da energia cinética do rio, elevando do nível de base regional e o aumento da abrangência da lâmina d'água e das áreas de deposição, principalmente na margem esquerda do rio, pois possui declividades menores comparadas à margem direita, conforme mostra a Figura 5.



Figura 5. Imagem OLI Landsat 8 sobreposta ao modelo digital de elevação. Margem esquerda com declividades menores que margem direita.

A formação da represa proporcionou o surgimento de ilhas no meio do curso d'água, que correspondem aos antigos diques fluviais que foram rompidos pelo extravasamento permanente das águas de seu antigo leito, principalmente na região da área de estudo, indicando que esta área constitui-se em setor de transição das águas mais rasas do rio para mais profundas do reservatório. A presença de óleo nesta área pode causar sérios impactos, devido à grande biodiversidade que a sua geomorfologia fluvial proporciona, uma vez que servem de abrigo e região de criadouro para várias espécies.

O índice 5 também foi bastante representativo na área, estando presente em 28,3 km, o que equivale a 19,3% do total mapeado. Estes locais são caracterizados por margens deposicionais formadas por areia. Segundo Brasil (2004), o tipo de substrato determina a permeabilidade, a mobilidade e a permanência do óleo, o que implica no grau de sensibilidade da área, pois dependendo do diâmetro, esfericidade e uniformidade do substrato, o óleo pode ter infiltração mais

superficial ou mais profunda. Estas margens foram classificadas com este índice por serem arenosas, tornando-as menos sensíveis do que margens com cascalhos.

Em vários pontos classificados como margem deposicional, com ISF 5, era esperada a ocorrência de margens erosivas, devido ao processo natural de erosão e deposição que o curso d'água exerce nas margens. No entanto, como sugere Aguilar (2014), após a construção da barragem da usina de Barra Bonita o rio passou a ter baixa energia para esses processos e, já ocupando a antiga planície de inundação, tem trabalhado na erosão quando ocorre a cheia do reservatório e na deposição dos sedimentos quando no período de vazante do mesmo. Os pontos de deposição se mostraram bastante evidentes na imagem do satélite LANDSAT 8, sensor OLI, de 29 de outubro de 2014 (Figura 6), período em que o estado de São Paulo passou por uma severa crise hídrica e o reservatório estava com 50% do seu volume útil, segundo o Operador Nacional do Setor Elétrico (ONS).

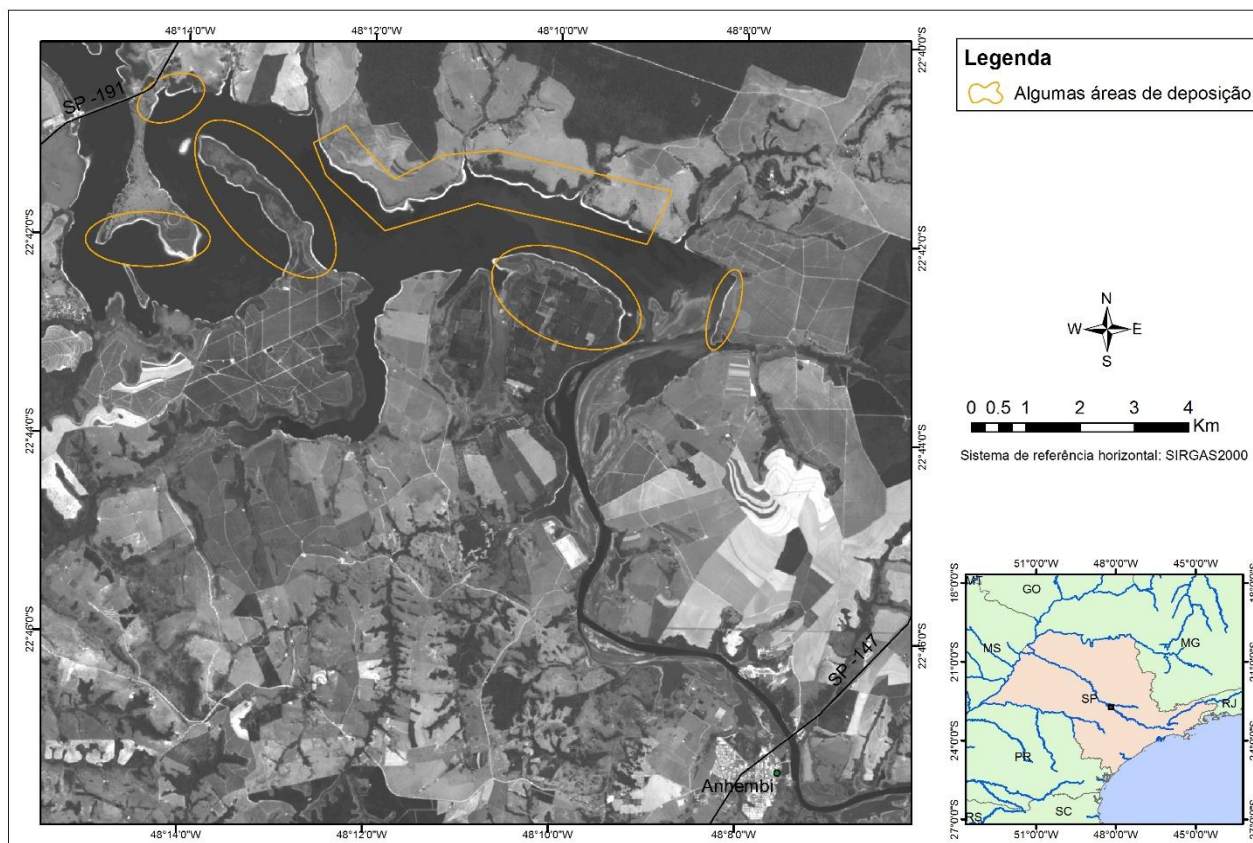


Figura 6. Algunas áreas de deposição observadas na imagem OLI Landsat 8 (banda 8) de 9 de outubro de 2014.

CONCLUSÕES

O mapeamento e análise do índice da sensibilidade ambiental ao óleo em ambiente fluvial (ISF), considerando as características da geomorfologia fluvial, permitiu identificar que 40,5% da área de estudo é altamente sensível, sendo representados pelos grupos dos índices 9 e 10. Desta forma, na ocorrência de eventuais acidentes envolvendo derramamento de óleo, estas devem ser as regiões com maior prioridade para as ações de contingência do contaminante, de modo que prejuízos ao meio ambiente sejam minimizados.

A adaptação do ISF a partir dos índices de sensibilidade do litoral mostrou-se adequada

para a aplicação em ambientes fluviais, abrangendo grande variabilidade das feições marginais. Neste estudo, as características marginais estão relacionadas com a complexa dinâmica fluvial condicionada pelo barramento do rio Tietê para construção da usina hidrelétrica de Barra Bonita.

A partir deste mapeamento pode-se elaborar as cartas de sensibilidade ambiental ao óleo para a região, de forma a colaborar nas ações de resposta a um acidente com óleo e, assim, contribuir para a redução da magnitude dos impactos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADMINISTRAÇÃO DA HIDROVIA DO PARANÁ. [2012]. Disponível em: <<http://www.ahrana.gov.br/>>. Acesso em: 10 dez. 2013
2. AGUILAR, R. L. ; CUNHA, C. M. L. Análise dos parâmetros geomorfológicos e da dinâmica fluvial: o caso do baixo curso do Rio Tietê (SP). REVISTA GEONORTE, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.32-36, 2014.
3. ALMEIDA, F.F.M. Novas ocorrências de fósseis no pré-cambriano brasileiro. *Anais da Academia brasileira de Ciências*. V.28, n.4, p. 44-45. 1956.
4. ARAUJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. CARVALHO, M. T. M; MENEZES, P. M. L.; ALCÂNTARA, A. V.; VARGAS, M. A. M.; TAKAHASHI, L. T. **Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo: ambientes costeiros, estuarinos e fluviais**. Rio de Janeiro: Petrobras: Jauá, 2006. 168p.
5. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos. Programa de Gerenciamento Ambiental Territorial. Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho. **Especificações e**

Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de óleo. Brasília, 2004.

6. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima do Ceará e Potiguar.** Brasília, 2004. 58 p.
7. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima de Santos.** Brasília, 2007. 124 p.
8. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima do Espírito Santo.** Brasília, 2012. 80p.
9. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental. **Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima da Bahia.** Brasília, 2012. 118p.
10. CAETANO-CHANG, M.R. & WU, F.F. Diagênese de arenitos da Formação Pirambóia no Centro Este Paulista. **Geociências**, v. 22, N. Especial, p. 33-47, 2003
11. COSTA, D.M.; RIEDEL, P.S.; CUNHA, C.M.L.da ; ZAMBON, A.C. Utilização do Modelo Orientado à Representação do Pensamento Humano (MORPH) no estabelecimento do Índice de Sensibilidade Fluvial (ISF): uma proposta de contribuição à Classificação da Sensibilidade Ambiental ao Óleo. **Pesquisas em Geociências**, 42(1), p. 25-44, 2015.
12. FERREIRA, M. F.; BEAUMORD, A. C. Mapeamento da sensibilidade ambiental à derrames de óleo nos cursos de água da bacia do Rio Canhanduba, Itajaí, SC. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**. v. 12, n. 2, p. 61-72, 2008.
13. GUNDLACH, E. R.; HAYES, M. O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Marine Technology Society Journal**. v. 12, p. 18-27. 1978
14. HAYES, M. O.; MICHEL, J.; DAHLIN, J. A.; BARTON, K. Identifying and mapping sensitive resources for inland area planning. In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE, **Proceedings...** p. 365-371, 1995.
15. HAYES, M. O.; MICHEL, J.; MONTELLO, T. M. The reach sensitivity index (RSI) for mapping river and streams. In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE. **Proceedings...** p. 343-350. 1997.
16. HAYES, M.O.; MICHEL, J.; DAHLIN, J.A. Identifying and mapping sensitive resources for inland area planning. In: INTERNATIONAL OIL SPILL CONFERENCE. **Proceedings...**, 1995. P 343-350.

17. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** Escala 1:500.000. Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981a.
18. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: IPT, 1981. 2v.
19. KREBS, A.S.J. **Contribuição ao conhecimento dos recursos hídricos subterrâneos da área correspondente à bacia Hidrográfica do Rio Araranguá, SC.** 2002. 1 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.
20. LEACOCK, E. **The Exxon Valdez oil spill.** Environmental Disasters. New York: Facts On File, Inc. 2005. 100p.
21. MARTINS, P. T. A.. **Carta de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo em Rodovias: proposta aplicada a Estrada dos Tamoios (SP-099).** 2012. Tese de Doutorado – Unesp/RC. 2012. 171 p.
22. MICHEL, J.; HAYES, M. O.; BROWN, P. J. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of lower Cook Inlet, Alaska. **Environment geology**, v. 2, p. 107-117, 1978.
23. NATIONAL OCEANIC and ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **An Introduction to coastal habitats and biological resources for oil spill response.** NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 115. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division. 2002.
24. NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Oil Spill case histories 1967-1991:** Summaries of Significant U.S. and International Spills. Report N. HMRAD 92-11.141 Seattle, Washington, 1992 . Disponível em: <http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/26_spilldb.pdf>. Acesso em 15 mai. de 2013.
25. STEVAUX, J. C.; SANTOS, M. L. Palaeohydrological changes in the upper Paraná river, Brazil, during the late Quaternary: a facies approach. IN: BENITO, G.; BAKER, V. R.; GREGORY, K. J. **Palaeohydrology and environmental changes.** London: John Willey & Sons, 1998. p. 273 – 285.
26. WIECZOREK, A. **Mapeamento de sensibilidade a derramamentos de petróleo do parque estadual da Ilha do Cardoso (PEIC) e áreas adjacentes.** 2006. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2006.

*Manuscrito recebido em: 04 de Agosto de 2015
Revisado e Aceito em: 11 de Dezembro de 2015*