

CRIAÇÃO DE BANCO DE DADOS PARA DESENVOLVIMENTO DE CHAVES INTERPRETATIVAS DA SENSIBILIDADE DE FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS AO DERRAME DE ÓLEO EM AMBIENTES FLUVIAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO

ADRIANA GRAZIELA DE MORAES

Orientador: Cenira Maria Lupinacci da Cunha

*“Monografia apresentada à Comissão do Trabalho de
Conclusão do Curso de Geografia do Instituto de
Geociências e Ciências Exatas – UNESP, campus de
Rio Claro, como parte das exigências para o
cumprimento da disciplina Trabalho de Conclusão de
Curso no ano letivo de 2015”*

Rio Claro – SP
2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Câmpus de Rio Claro

ADRIANA GRAZIELA DE MORAES

CRIAÇÃO DE BANCO DE DADOS PARA DESENVOLVIMENTO
DE CHAVES INTERPRETATIVAS DA SENSIBILIDADE DE
FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS AO DERRAME DE ÓLEO EM
AMBIENTES FLUVIAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel
em Geografia.

Rio Claro - SP

2015

ADRIANA GRAZIELA DE MORAES

CRIAÇÃO DE BANCO DE DADOS PARA DESENVOLVIMENTO
DE CHAVES INTERPRETATIVAS DA SENSIBILIDADE DE
FEIÇÕES GEOMORFOLÓGICAS AO DERRAME DE ÓLEO EM
AMBIENTES FLUVIAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de
Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio
Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de
Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel
em Geografia.

Comissão Examinadora

Prof^ª. Dr^ª. Cenira Maria Lupinacci da Cunha

(orientador) Prof^ª. Dr^ª. Paulina Setti Riedel

Prof^ª. Dr^ª. Andréia Medinilha Pancher

Rio Claro, 18 de Dezembro de 2015.

Assinatura da aluna

Assinatura da orientadora

Dedico este trabalho aos meus pais, Márcia e Paulo e à minha irmã Ábila.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Formação de Recursos Humanos em Geociências e Ciências Ambientais Aplicadas ao Petróleo – PRH 05/UNESP, ao PFRH/Petrobrás e ao PRH/ANP – FINEP/MCT, pelo apoio, indispensável à realização deste trabalho de conclusão de curso.

A natureza, em todas as suas formas e ações onde são manifestadas a perfeição divina.

Aos meus pais, por todo esforço, motivação, carinho e paciência durante esses anos de graduação, e à minha irmã por ser um exemplo de determinação, devo tudo que sou a vocês.

A Prof. Cenira por todo apoio, orientação, ensinamentos e conselhos acadêmicos, que foram fundamentais para a minha formação e realização desse trabalho.

As amigas de graduação e da vida Sheilla Ribeiro, Thalita Jordão, Valéria Bernardelli e Vanessa Antunes pelos ótimos momentos, viagens de campo, risadas, aprendizados e por serem o melhor grupo de trabalhos, seminários e afins que o curso de Geografia já teve. Vocês são sensacionais e merecem as melhores coisas que a vida pode oferecer. Agradeço imensamente por ter tido a companhia de vocês por esses 5 anos.

Aos amigos Alexandre ‘Belo’, Vinicius ‘Tolima’, Yuri ‘Japa’ e Carolina Reame pelos bons momentos, boas risadas (e algumas lágrimas), festas, coxinhas e companhia em dias aleatórios. Minha vida universitária não teria sido tão boa sem a presença de vocês.

A Rep. Fervo e todas as meninas que dividiram um pouco de suas vidas comigo por esses 2 anos, em especial a Laís ‘Xoxó’, Helena ‘Tuty’, Patrícia Caires, Isabela ‘Chapéu’, Ana, Michele e a Bixete Débora, obrigada pelas experiências memoráveis.

As amigas piracicabanas do apartamento 62, Mari Finotti, Lu e Bru, com quem dividi muitas risadas nos últimos tempos da graduação.

A amada e adorada Geoplan Jr, por ter sido a melhor experiência da minha graduação e por ter me proporcionado um crescimento pessoal e profissional que nenhum outro grupo poderia ter oferecido. Uma vez Geoplan, sempre Geoplan!

Agradeço ao meu amigo, companheiro e namorado, Vinicius Filier, por todo amor, apoio, motivação e críticas construtivas. Sua presença me encoraja a seguir em frente, sempre buscando o melhoramento pessoal e as atitudes mais sensatas.

As amigas Beatriz Traskurkemb (de longa data) e Verônica Cereda, que mesmo distantes, são amigas incríveis e com quem posso contar. Sinto falta de vocês!

À Luciana Filier, pelo carinho e apoio.

“a felicidade só é verdadeira quando (com)partilhada” (David Thoreau).

A todos, meu muito obrigada!

“Passei por muita coisa na vida e agora penso que encontrei o que é necessário para a felicidade. Uma vida tranquila (...) com a possibilidade de ser útil à gente para quem é fácil fazer o bem e que não está acostumada que o façam; depois trabalhar em algo que se espera ter alguma utilidade; depois descanso, natureza, livros, música, amor pelo próximo - essa é a minha ideia de felicidade.”

Leon Tolstoi

RESUMO

Os acidentes envolvendo derrame de petróleo e derivados são alvo de preocupação crescente da sociedade atual. Esses acidentes acontecem tanto nos ambientes marinhos quanto fluviais e terrestres, causando enormes e drásticas perdas nos ecossistemas atingidos, além de danos e prejuízos nos setores econômicos e sociais. Os primeiros mapeamentos da sensibilidade ambiental ao óleo de cursos fluviais surgiram no final da década de 1970 nos Estados Unidos, efetuados pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). No Brasil, foi apenas em 2001 que os primeiros mapas foram elaborados para setores dos rios amazônicos próximos as instalações da Petrobras. Atualmente, não se tem um número expressivo de estudos que abordem a sensibilidade ambiental a derrames de óleo para os ambientes fluviais do Brasil, o que dificulta que medidas de prevenção e mitigação dos acidentes sejam tomadas de forma efetiva. Os cursos fluviais brasileiros apresentam características de ambientes tropicais, com diferentes dimensões e características e, por essa razão, é fundamental mais estudos sobre esses ambientes e a caracterização do maior número de feições geomorfológicas fluviais para cada tipo de sistema de grande, médio e pequeno porte. Com isso, esta pesquisa apresenta um banco de dados com 28 imagens dos rios Tietê, Grande e Paranapanema e 22 tabelas explicativas contendo as feições geomorfológicas e/ou antrópicas consideradas mais relevantes para a pesquisa. As feições foram classificadas baseando-se nas características marginais, nos processos fluviais, no tempo de permanência do óleo no ambiente e na dificuldade de limpeza do fluído. As imagens foram coletadas do Google Earth® e posteriormente foi usado SIG ArcGis 10® para integração das imagens com as tabelas. No futuro, esta pesquisa pode auxiliar mapeamentos com foco na sensibilidade ao óleo dos sistemas fluviais.

PALAVRAS – CHAVES: Geomorfologia Fluvial. Sensibilidade Ambiental. Sensoriamento Remoto. SIG.

ABSTRACT

Accidents involving oil spill are a growing concern in our current society. These accidents happen both in marine ecosystems as in fluvial and terrestrial ecosystems, causing huge damages in the affected ecosystems, as well as damages to the economic and social sectors. The first mapping of environmental sensitivity to oil spills in waterways emerged in the late 1970s in the United States, made by NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). In Brazil, it was only in 2001 that the first maps were drawn for some sections of the Amazonian Rivers located near Petrobras offices. Currently, in Brazil, there is not a significant number of studies that approach the environmental sensitivity to oil spills in fluvial ecosystems, which makes it difficult to effectively prevent or mitigate accidents. Brazilian watercourses have characteristics of tropical environments and present different dimensions and characteristics and, due to these facts, it is crucial the development of further studies of these environments, categorizing the largest number of fluvial geomorphological features for each size of system (large, medium or small). Thus, this research presents a database containing 28 images of the rivers Tietê, Grande and Paranapanema as well as 22 spreadsheets about its anthropic and geomorphological features, considered as the most relevant to this research. The features were classified based on the marginal features, fluvial processes, oil permanence time in the environment and difficulty of cleaning the fluid. For this it was used images obtained from Google Earth® and later GIS ArcGIS 10® to integrate images and spreadsheets. In the future, this research can help mappings focused on sensitivity to oil of river systems.

KEYWORDS: Fluvial geomorphology. Environmental Sensitivity. Remote Sensing. GIS.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
2.1 Vulnerabilidade, Susceptibilidade e Sensibilidade Ambiental.....	12
2.2 Principais acidentes envolvendo derrames de petróleo.....	14
2.3 Ambientes Costeiros.....	16
2.4 Ambientes Fluviais.....	19
2.5 Índice de Sensibilidade Ambiental a derrames de óleo.....	20
3. ÁREA DE ESTUDO.....	30
3.1 Rio Tietê.....	30
3.1.1. Bacia do Alto Tietê.....	31
3.1.2 Sub-regiões do rio Tietê – Alto Tietê.....	32
3.1.3 Bacia do Médio Tietê.....	34
3.1.4 Bacia do Baixo Tietê.....	36
3.2 Bacia do Rio Grande.....	38
3.3 Bacia do Rio Paranapanema.....	39
3.3.1. Bacia do Alto Paranapanema.....	40
3.3.2. Bacia do Médio Paranapanema.....	41
3.3.3. Bacia do Baixo Paranapanema (Pontal do Paranapanema).....	43
4. MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS.....	45
4.1 Materiais.....	45
4.2 Métodos.....	45
4.3 Técnicas.....	45
4.3.1 Elaboração do Banco de Dados.....	45
4.3.2. Acesso ao Banco de Dados.....	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74
8. APÊNDICE A: BANCO DE DADOS COMPLETO.....	80

1. INTRODUÇÃO

Nos tempos atuais, a questão ambiental apresenta-se como uma problemática crescente. Os estudos tradicionais, que consideravam o homem e a natureza como seres distintos e se voltavam aos elementos naturais como fontes ilimitadas de recursos para o crescimento econômico, não incluem os diversos graus de agressão ambiental que resultam em processos irreversíveis, decorrentes do crescimento demográfico da atualidade.

O petróleo e alguns de seus derivados são conhecidos desde os primórdios da civilização humana (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2003, p. 111) e, atualmente, estão presentes em praticamente todas as atividades humanas. Sua exploração remonta do século XIX, nos campos de perfuração de poços petrolíferos nos EUA, onde esse novo ramo rapidamente se tornou rentável; na Europa, a indústria petrolífera floresceu quase que paralela com a americana. Nos anos 1970, metade da energia primária provinha do petróleo; nos dias de hoje, esse número está na casa dos 43%, além dessa indústria se destacar em outras formas de uso, como na produção de gasolina, óleo diesel, naftas, óleos combustíveis e asfalto, plásticos, tintas, fármacos, entre outros.

Para sanar as novas necessidades que o crescimento demográfico trouxe, fez-se necessário encontrar novas formas de exploração e distribuição das diversas matrizes energéticas, principalmente a dos hidrocarbonetos, dando ênfase à indústria petroquímica. Entretanto, a ampla utilização dessa fonte de energia pode acarretar sérios riscos para o meio ambiente, principalmente aqueles relacionados ao seu transporte, devido à ocorrência de acidentes como os derrames de óleo em rios e oceanos. Para transportar essa matriz energética, forma-se uma complexa rede de oleodutos, que estão presentes nos diferentes ambientes terrestres e fluviais, onde atravessam os canais ou posicionam-se próximos desses. Com isso, as entidades internacionais e a sociedade, preocupadas com a intensidade das ocorrências desses acidentes, tem se tornado mais exigente com a questão da necessidade da preservação ambiental; as empresas desse setor, entendendo seu papel na diminuição desses acidentes, têm se voltado para estudos sobre o planejamento de contingências e o pronto atendimento nas ocorrências de acidentes (SILVA et al., 2012). Nesse contexto, destacam-se como instrumento imprescindível os mapeamentos de sensibilidade ambiental ao derrame de óleo, que são importantes ferramentas técnico-gerenciais utilizadas na tomada de decisões emergenciais em caso de combate a derrames de óleo (BEAUMORD e FERREIRA, 2008).

Os mapeamentos da sensibilidade ao óleo de cursos fluviais começaram a surgir no final da década de 1970, efetuados pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), com ênfase nas bacias hidrográficas norte americanas; no Brasil foi apenas em 2001 que os

primeiros mapas foram elaborados, para trechos dos rios da Amazônia em regiões próximas as instalações da Petrobras. Os cursos fluviais são ambientes extremamente complexos, com inúmeras variáveis que diferem um sistema de outro. Os cursos fluviais brasileiros apresentam características de ambientes tropicais, com diferentes dimensões e características. Por essa razão, é fundamental e necessário mais estudos sobre esses ambientes e a caracterização do maior número de feições fluviais para cada tipo de sistema de grande, médio e pequeno porte.

A partir da problemática apresentada, a pesquisa objetivou, a partir de parâmetros geomorfológicos, criar um banco de imagens, contendo tipos de rios de médio porte do Estado de São Paulo (Rio Tietê, Rio Paranapanema e Rio Grande) e feições marginais associadas ao seu índice de sensibilidade esperado com o objetivo de facilitar mapeamentos futuros, a preservação desses ecossistemas, bem como o gerenciamento de consequências de acidentes envolvendo derrames de óleo. Entende-se que, no conjunto dos ambientes fluviais, faz-se necessário avaliar e hierarquizar as feições geomorfológicas que implicam em maior sensibilidade aos acidentes. Portanto, a elaboração desse banco de dados, a partir dos parâmetros geomorfológicos e a consulta de bibliografia nacional e internacional, constitui uma importante ferramenta para auxiliar o desenvolvimento de uma proposta relacionada à avaliação da sensibilidade ambiental ao óleo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Vulnerabilidade, Suscetibilidade e Sensibilidade Ambiental

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 1, de 23/01/1986, estabelece que a bacia hidrográfica deve ser considerada como área de estudo em avaliações de impacto ambiental, uma vez que as pressões exercidas por atividades humanas repercutem diretamente sobre a qualidade das águas, do solo, da vegetação e de vida de populações residentes em bacias hidrográficas.

Segunda Silva et al. (2012, p. 2):

A sensibilidade ambiental a derrames de óleo é uma questão bem definida, que vem sendo estudada há algumas décadas (GUNDLACH e HAYES, 1978), e para qual já existem normas técnicas oficiais (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002), enquanto que a suscetibilidade e vulnerabilidade ambiental a derrames de óleo ainda não dispõem de normas que regulamentem sua definição e aplicação.

O uso de conceitos como vulnerabilidade, suscetibilidade e sensibilidade ambiental são constantemente abordados e fazem referência à fragilidade de sistemas ambientais frente a determinadas pressões, entre essas, pode-se citar os acidentes envolvendo derrames de óleo. Esses termos amplamente usados nas questões ambientais, muitas vezes não deixam claro seu real significado acarretando assim em seu uso equivocado. Portanto, considera-se necessário abordar os três conceitos e discutir suas aplicações analisando seu melhor uso, levando em consideração o problema apresentado.

O conceito de vulnerabilidade refere-se a determinadas questões (relacionadas a problemas ou impactos ambientais), necessitando assim definir qual perturbação será objeto de estudo, visto que, um sistema pode ser vulnerável a um tipo de problema e a outros não. Assim, dependendo do tipo de fenômeno considerado, o termo vulnerabilidade pode apresentar significado específico. A vulnerabilidade se baseia na matriz de interação da sensibilidade e na suscetibilidade dos ambientes (SILVA et al. 2012, p. 1). No caso de derrames de óleo, a análise de vulnerabilidade deverá considerar a probabilidade do óleo atingir determinadas áreas e a sua sensibilidade.

Segundo Rocha (2008) “a vulnerabilidade em um ambiente está associada a dois fatores: **sensibilidade** e **suscetibilidade** (grifo nosso)”; a sensibilidade ambiental está relacionada ao nível de resposta de um ambiente gerado por um determinado tensor antrópico (Milanelli, 2011). Por outro lado, Rocha (2008, p. 7) explica que:

a suscetibilidade conecta-se à probabilidade de um ambiente ser atingido por algum evento ou cenário accidental. A suscetibilidade é determinada

centralmente pelas condições do ambiente, e a presença de fontes efetivas de contaminação que possam atingir a área em foco.

De acordo com Adger (2006, p. 268), as definições de vulnerabilidade, usualmente, atrelam esse conceito a um ou mais dos seguintes fatores: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa ou de resposta do sistema. Segundo o autor:

Vulnerability is the state of susceptibility to harm from exposure to stresses associated with environmental and social change and from the absence of capacity to adapt. Antecedent traditions include theories of vulnerability as entitlement failure and theories of hazard. Each of these areas has contributed to present formulations of vulnerability to environmental change as a characteristic of social-ecological systems linked to resilience.

A exposição significa o grau, duração ou extensão em que o sistema está em contato com perturbações. A sensibilidade está relacionada à extensão ou ao grau em que um sistema pode absorver as pressões sem sofrer alterações no longo prazo. A capacidade adaptativa é a habilidade do sistema de se ajustar a um dano ocorrido, fazer uso de recursos ou oportunidades ou responder a mudanças ambientais que venham a ocorrer (FIGUEIRÊDO et al. 2010, p. 10). Nesse contexto, um sistema é mais vulnerável quanto maiores às pressões, maior a sensibilidade do meio e menor sua capacidade adaptativa.

No Brasil, há um padrão de normas e nomenclaturas para elaboração dos mapas de sensibilidade ambiental ao óleo, estabelecidas pelo órgão ambiental brasileiro (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; BRASIL, 2002), baseadas nas propostas da NOAA (1997) e PETROBRAS (ARAUJO et al., 2002), chamado “Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo”. Nesse documento, as áreas de maior sensibilidade são aquelas que contêm três tipos de informações espaciais: a classificação da sensibilidade dos ambientes, os recursos biológicos e os recursos de uso humano de valor recreacional, de subsistência ou comercial. A classificação do ambiente é feita de acordo com as suas características físicas, permanência do óleo e condições de limpeza ou remoção.

A sensibilidade de cada ambiente varia em função de sua importância social e econômica, biológica e geomorfológica, estando relacionada ao potencial de degradação que aquele ecossistema pode vir a sofrer (ALENCAR, 2003). As regiões que apresentam maior sensibilidade serão aquelas em que, caso ocorra um evento acidental, os aspectos físicos, biológicos e humanos presentes serão extremamente afetados, ocasionando danos de grandes proporções e, em muitos casos, irreversíveis (MILANELLI, 2011).

Para este estudo, portanto, optou-se por trabalhar com a questão da sensibilidade, visto que este conceito se encaixa no objetivo que se pretende alcançar. Assim, busca-se analisar e explicar o nível de resposta do ambiente, em função do relevo, caso ocorram derrames de petróleo e de seus derivados.

2.2 Principais acidentes envolvendo derrames de óleo

O petróleo e alguns de seus derivados são conhecidos desde os primórdios da civilização humana (ANEEL, 2003, p. 111). No início, o homem procurava abrigo próximo dos recursos naturais, principalmente os energéticos. Com a descoberta dos combustíveis fósseis, esse cenário mudou de forma que, nos dias atuais, os grandes centros consumidores podem estar distantes das reservas e das fontes energéticas. O petróleo é um ótimo exemplo dessa modernização da vida humana. Segundo Pincinato (2007) “Atualmente, é fonte não só de energia, mas também de matéria prima, estando presente, direta ou indiretamente, em praticamente todos os utensílios e atividades humanas”.

No início, no século XVIII, o petróleo começou a ser usado comercialmente, nos ramos farmacêuticos e da iluminação, e, somente no século XIX, teve início a exploração de campos e a perfuração de poços petrolíferos, ainda que de forma mínima. As primeiras explorações ocorreram nos EUA, onde esse novo ramo rapidamente se tornou rentável; na Europa, a indústria petrolífera floresceu quase que paralela com a Americana, entretanto, enfrentava uma difícil competição contra o carvão, a linhita e a turfa. Ainda assim, rapidamente o petróleo passou a ser usado em larga escala (principalmente com a invenção dos motores a gasolina e a diesel) e durante muitas décadas, foi o grande propulsor da economia internacional; com isso, grandes empresas petrolíferas nasceram e até hoje, dominam o mercado mundial. Nos anos 1970, metade da energia primária provinha do petróleo; nos dias de hoje, esse número está na casa dos 43% (ANEEL, 2003, p. 111).

No Brasil, a história do petróleo se inicia em meados de 1850 e a primeira sondagem foi feita entre os anos de 1892 e 1896, no interior do Estado de São Paulo. Em 1938, foi criado o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), como iniciativa de nacionalizar as riquezas brasileiras; em 1953, o então Presidente Getúlio Vargas estabeleceu o Monopólio Estatal sobre esse bem, criando a Petrobras. Por fim, no ano de 1997 foi criada a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível (ANP), que é a responsável pela execução da Política Nacional desse setor. (ALBERTINI, 2011, p. 65-66).

A cadeia produtiva petroleira está inserida numa enorme e complexa rede, que envolve a exploração, a produção, o transporte, o refino e a comercialização desse recurso e de seus

derivados. As embarcações marítimas (que podem colidir, naufragar ou encalhar), as áreas com instalação de petroleiros, terminais de armazenamento, refinarias, os oleodutos e qualquer outro navio ou embarcação, já que todos utilizam óleo combustível como fonte de propulsão são as grandes responsáveis pelos acidentes que ocorreram, tanto em ambientes continentais quanto marinhos, trazendo enormes prejuízos a esses ecossistemas, impactando negativamente setores econômicos e populações humanas. Com isso, as entidades internacionais e a sociedade, preocupadas com a intensidade das ocorrências desses acidentes, tem se tornado mais exigente com a questão da necessidade da preservação ambiental; as empresas desse setor, entendendo seu papel na diminuição desses incidentes, têm se voltado para estudos sobre o planejamento de contingências e o pronto atendimento nas ocorrências de acidentes (SILVA et al., 2012).

Episódios envolvendo o derrame de óleo nos mares, oceanos e ambientes fluviais, causam enormes e drásticas perdas nos ecossistemas atingidos, como no exemplo apresentado por Alcântara e Santos (2004, p. 16):

(...) derrames de petróleo, como os acontecimentos ocorridos na Bahia Súcia (Porto Rico), em março de 1973, com derrame de 5.000 toneladas de petróleo (Lugo et al., 1980) e muitos outros citados por Lewis (1983) como em Guanica (Porto Rico, Diaz Piferrer, 1962), I. Galeta (Panamá, Rutzler & Sterrer, 1970), Tarut Bay (Arábia Saudita, Spooner, 1970), Cabo Rojo (Porto Rico, VST/ TRC, 1975), Colômbia e Equador (Jernelov & Linde, 1980; Hayes, 1977), Flórida (U. S. A. Chan, 1977), Corpus Christi (Texas, Holt et al., 1978), Guayanila Bay (Porto Rico, Lopez, 1978), Indonésia (Baker, 1981; Baker et al., 1981), Nigéria (Baker, 1981), Tampa (Flórida, Getter et al., 1981; Snedaker et al., 1981). Estes episódios tiveram consequências que variam de desfolhamento de árvores a morte de árvores adultas, destruição de habitats, morte de animais e perda de comunidades de algas das raízes e rizóforos.

Entre os anos de 1974 e 2006, estatísticas internacionais da International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF, 2007) revelam que a maior parte dos derramamentos envolvendo petroleiros ocorreu devido a rotinas operacionais como carga, descarga e abastecimento em portos e terminais. A maioria desses vazamentos é considerada de pequeno porte, sendo 84% dos casos com quantidades menores que 7 toneladas. Acidentes envolvendo colisões e encalhes resultam em derramamentos de magnitudes maiores; mesmo assim, o montante anual de descargas de óleo no mar gerado por rotinas de operação continua sendo maior, ficando atrás apenas das exsudações naturais ocorridas no fundo dos oceanos (BURGHERR apud PINCINATO, 2007).

Os grandes acidentes de derrame de óleo, que tiveram uma grande repercussão midiática, auxiliaram no aumento do nível de conscientização da sociedade sobre os perigos

que esses podem acarretar. Como exemplo, cita-se o episódio da embarcação Exxon Valdez, da companhia Exxon Mobil, que encalhou na baía de Prince Willian no Alasca em 1989 e lançou ao mar aproximadamente 257.000 barris de petróleo, causando sérios danos ambientais, com centenas de milhares de animais mortos e consequente prejuízo às populações locais (BIRKLAND; LAURENCE, 2002). Como aconteceu em uma área fria e com elevado número de recursos biológicos, a recuperação ambiental é mais lenta, já que a sensibilidade ambiental é extremamente elevada.

Atualmente, outro grande acidente foi o da plataforma marítima de petróleo Deepwater Horizon, da companhia British Petroleum, que em 2010 explodiu, causando uma das maiores catástrofes ambientais que se tem conhecimento; nesse caso, foram derramados 779 mil toneladas de óleo, que atingiram a costa de 5 estados norte-americanos (Lousiana, Texas, Mississippi, Alabama e Flórida) e que causaram danos irreparáveis à biota e às populações humanas (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL apud COSTA, 2013, p. 55).

Esses grandes desastres levaram os órgãos responsáveis e as empresas a regularem as atividades desse setor, estabelecendo uma legislação internacional que estabelecem diretrizes quanto às atividades de prospecção, transporte e armazenamento de petróleo e derivados (KETKAR apud WIECZOREK, 2006, p. 01).

No Brasil, poucos são os dados sobre os derramamentos ocorridos. Segundo a CETESB (2013), o primeiro derramamento que ocorreu em território brasileiro foi o do petroleiro Brazilian Marina, em 1978, onde 6.000m³ de óleo foram derramados no litoral de São Sebastião. Em relação a áreas continentais, ocorreu em Araucária (PR) um acidente na refinaria REPAR em 2000, que acarretou no derramamento de 150.000 m³ de óleos nos rios Barigui e Iguaçu; no ano de 2001, em Paulínia (SP) (Refinaria Paulínia – REPLAN), um duto foi rompido, causando o vazamento de 220 m³ de combustível.

2.3 Ambientes Costeiros

Os ambientes marinhos e litorâneos são grandes provedores de bens e serviços à sociedade, entretanto aproximadamente 10% desses ambientes estão poluídos em virtude dos derramamentos de óleo e seus derivados. Segundo Rocha (2008, p. 1):

A zona costeira (espaço geográfico de interação entre as águas oceânicas, o ar e a terra) é uma das áreas sob maior estresse ambiental e que mais sofreu alterações com o processo de ocupação do território brasileiro (MACEDO, 1999). As pressões sobre esse espaço são resultados da excessiva exploração dos recursos naturais, do uso desordenado do solo, das atividades

econômicas derivadas da ampliação do processo produtivo (principalmente referentes à exploração e transporte de hidrocarbonetos) e do aumento da densidade demográfica associada à fragilidade dos ecossistemas costeiros (CLARK, 1977; GRUBER et al., 2003).

Ainda que se considere o constante progresso em que anda a tecnologia de segurança operacional na exploração e no transporte de petróleo, o risco de acidentes ainda existe e os danos decorrentes, que podem ser ocasionados tanto pelo derrame quanto pelos procedimentos de limpeza, são, ainda, uma ameaça às áreas costeiras em todo o mundo (ALCÂNTARA & SANTOS 2004).

Assim, considerando essas circunstâncias como problemáticas do setor petroleiro, medidas de precaução aos impactos gerados, como também objetivando minimizar os danos, governos e empresas estruturaram um planejamento para respostas a estes incidentes.

Nos anos 1970, a identificação e mapeamento das áreas sensíveis a derramamentos de óleo surgiram nos EUA como planos de contingência. Em 1978, o clássico trabalho de Gundlach e Hayes indexava feições da linha de costa marinha, dividindo a sensibilidade do litoral em 10 níveis, no qual a maior importância era dada para fatores geomorfológicos, que controlavam a permanência do óleo nesses ambientes. Wieczorek (2006, p. 13) em síntese explica que “um ambiente seria mais ou menos sensível ao óleo de acordo com seu nível de exposição ao hidrodinamismo e ao seu tipo de substrato”. O hidrodinamismo estaria ligado à limpeza natural da região afetada, assim sendo, áreas com intenso hidrodinamismo teria uma sensibilidade menor, assim como os substratos consolidados, já que os hidrocarbonetos teriam dificuldade em penetrá-los.

A partir de 1980, os mapas de sensibilidade (Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo - SAO) começaram a ser elaborados contendo mais informações espaciais: a classificação da sensibilidade dos ambientes de acordo com os índices de sensibilidade na escala de 1 a 10; os recursos biológicos e por fim, os recursos de uso humano de valor comercial, recreacional ou de subsistência (JENSEN et al., 1998 apud WIECZOREK, 2006). Em 1989, o mapeamento começou a ser elaborado utilizando ferramentas de Geoprocessamento, tais como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e os produtos tecnológicos do sensoriamento remoto (JENSEN; HALLS; MICHEL, 1998).

Muitas outras propostas de índices foram elaboradas desde os anos 1970, e, não existindo uma padronização que pudesse ser seguida e que facilitasse o mapeamento das áreas sensíveis. Com o intuito de sanar essas dificuldades, a NOAA desenvolveu um guia para padronizar esses mapeamentos nos Estados Unidos, baseado na classificação da sensibilidade

ambiental da linha de costa e na representação dos recursos biológicos e socioeconômicos sensíveis e relevantes para as operações de resposta. Esse guia acabou se consolidando ao redor do mundo e serviu de base para a elaboração de vários outros guias, como por exemplo, o da Assistência Recíproca Petroleira Empresarial Latino-Americana (ARPEL, 1997), o da International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA, 1996) e o da Petrobras (2001) (PINCINATO, 2007, p. 6).

As cartas SAO são utilizadas em diversos países por apresentam informações geográficas relativas aos aspectos socioeconômicos, biológico-ecológicos e geomorfológicos das zonas costeiras e, por vezes, áreas continentais. Dentre os objetivos principais das Cartas SAO, está o gerenciamento ambiental, o princípio da precaução, minimização da degradação ambiental, atenção a riscos futuros, identificação de ambientes com prioridade de preservação, direcionamento de recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção (BRASIL, 2004).

No Brasil, a indústria de petróleo vem apresentando forte crescimento na zona costeira e, com as novas descobertas de campos petrolíferos na região do Pré-Sal na Bacia de Santos, estima-se um crescimento ainda maior das atividades relacionadas à indústria do petróleo no litoral. Atualmente, temos 34 portos marítimos, estando 13 deles associados diretamente às regiões metropolitanas (SANTOS; CÂMARA, 2002). O país possui 23 terminais aquaviários distribuídos nas diversas regiões brasileiras e operados pelo sistema Petrobras-Transpetro, destinando-se à armazenagem e distribuição de petróleo e derivados (LIMA; DIAS-BRITO e MILANELLI, 2008). Por apresentar uma grande parte do seu litoral envolvido com setores petrolíferos (e conseqüentemente com todas as etapas da cadeia produtiva do petróleo), o risco de derramamentos é alto, assim sendo, as Cartas SAO são bastante utilizadas em nosso país.

No Brasil, a primeira tentativa para mapeamentos de sensibilidade foi desenvolvida pela Petrobras (ARAÚJO; SILVA E MUEHE, 2002), gerando uma metodologia de mapeamento litorâneo, que explicita os diferentes níveis de sensibilidade da zona intermaré a derramamentos de óleo. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) começou a se mobilizar na elaboração dessa metodologia de mapeamento oficial para o território nacional após incidentes ocorridos na Baía de Guanabara no Rio de Janeiro, em janeiro de 2000; e em Barcarena no Paraná, em fevereiro do mesmo ano. (MMA apud PINCINATO, 2007, p. 6).

Com a finalidade de estabelecer uma metodologia padronizada para o mapeamento de sensibilidade ambiental, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) fez uma compilação das proposições do NOAA (1997), da IPIECA (1996) e da Petrobrás (ARAÚJO et al., 2002) no início do ano 2000,

originando assim a primeira versão do documento intitulado "Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo.

Além do planejamento de resposta, as cartas e mapas de sensibilidade têm enorme potencial para emprego no planejamento ambiental da zona costeira e marinha, reforçando os instrumentos políticos e administrativos de ordenamento territorial. Posteriormente, o Ministério do Meio Ambiente elaborou um documento oficial visando padronizar a elaboração das Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo (Cartas SAO), adaptando o índice de sensibilidade do litoral (ISL) às características dos ambientes costeiros brasileiros (BRASIL, 2004).

A elaboração das Cartas SAO, no caso da costa litorânea brasileira, é uma das atribuições do Plano Nacional de Contingência a Derramamentos de Óleo (PNC). Os PNCs definem a estrutura organizacional, os procedimentos e os recursos disponíveis para resposta aos incidentes de poluição por óleo, sendo considerados instrumentos essenciais dos sistemas de planejamento e resposta em todo o mundo (Rocha, 2008, p. 3). Entretanto, nenhum PNC está em vigência no Brasil, mas, o país possui uma legislação relacionada ao setor de exploração, transporte e armazenamento de óleo, seus derivados e substâncias nocivas, que tem como finalidade, reduzir os casos de incidentes envolvendo vazamentos. Essa legislação é representada, principalmente pelas Leis Federais 8.630/1993 e 9.966/2000, Resolução CONAMA 293/2001 e Decretos Federais 2.870/1998 e 4.871/2003. Com isso, podemos considerar que o Brasil segue uma tendência internacional de colocar em vigor Planos de Contingências para vazamentos de óleo.

2.4 Ambientes Fluviais

Segundo Christofolleti (1980, p. 8):

Bacia hidrográfica corresponde a uma área drenada por um rio ou conjunto de rios, delimitada por divisores de água. Essas bacias podem ser hierarquizadas pela subdivisão de uma bacia maior em sub-bacias, cujas águas contribuem para a formação do rio principal.

Os mapeamentos da sensibilidade ao óleo de cursos fluviais começaram a surgir no final da década de 1970, efetuados pela NOAA, e estudava as bacias hidrográficas norte americanas. É de enorme importância que esses estudos se tornem mais recorrentes, visto que, nos dias atuais o transporte de petróleo e derivados está cada dia mais inserido no complexo de redes rodoviárias, ferroviárias, dutovias, malhas subterrâneas e de oleodutos; sem contar o transporte por embarcações nos cursos fluviais. Ainda que se tenham estudos e pesquisas

nessas áreas, foi apenas em 2001 que os primeiros mapas foram elaborados no Brasil, para trechos dos rios da Amazônia em regiões próximas as instalações da Petrobras.

O Brasil possui uma das mais extensas, diversificadas e complexas redes hidrográficas do mundo, e não somente no transporte dos hidrocarbonetos pelo curso dos rios está o perigo de contaminação, mas também, acidentes em alguma das formas de transporte (rodovias, ferrovias, dutovias, etc) pode levar ao derrame desse petróleo e causar impactos negativos nos cursos fluviais. Segundo Costa, (2013, p. 32-33):

Dos modais apresentados, o transporte rodoviário contribuiu predominantemente com o número de acidentes envolvendo principalmente os setores químico, petroquímico e refino de petróleo nos últimos 7 anos. Isso se deve ao fato da malha rodoviária concentrar cerca de 60% do volume da carga transportada do país (IBAMA, 2012). Além dos modais, outros locais contribuem consideravelmente com o número de ocorrências de acidentes ambientais (...) Como resultado é possível verificar que os cursos fluviais são um dos ambientes mais afetados por acidentes envolvendo contaminação, principalmente por hidrocarbonetos e derivados.

Dessa forma, é possível constatar que os cursos fluviais são ambientes altamente vulneráveis à acidentes envolvendo derramamentos de óleo. Até o ano de 2009, a maioria dos acidentes estava associada ao transporte por oleoduto, mas, é possível observar uma mudança a partir de 2011, onde as maiores ocorrências acontecerem por meio rodoviário e fluvial (COSTA, 2013).

Os cursos fluviais brasileiros apresentam características de ambientes tropicais, com diferentes dimensões e características, o que dificulta a criação de um Índice de Sensibilidade Fluvial que se encaixe em todos os tipos rios.

2.5 Índices de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo

Nesta pesquisa, para elaboração das chaves interpretativas e as propostas de índices de sensibilidade ambiental a derrames de óleo dos rios paulista de porte médio, foi utilizado como embasamento teórico às considerações de publicações como as de Araújo et. al (2006) que são referência do sistema Petrobras (metodologia modificada da NOAA); o índice de sensibilidade do litoral, criado pelo Ministério do Meio Ambiente (2002); o Índice de Sensibilidade Ambiental para Ambientes Lacustres, NOAA (1997); o Índice de Sensibilidade Ambiental das margens para os Grandes Lagos canadenses e estadunidenses, publicado por Michel; Hayes; Dahlin. (1994) e o Índice de Sensibilidade Ambiental também publicado por Michel; Hayes; Dahlin (1995); Oliveira et. al que propôs o índice de sensibilidade terrestre em 2003 (similar a NOAA, 1997 e MMA, 2002) e Hayes; Michel; Montello (1997), que propuseram uma classificação de sensibilidade a derramamento de óleo em pequenos rios e

córregos do sudeste dos Estados Unidos. Esses autores/instituições descrevem e analisam a sensibilidade ambiental das regiões terrestres, costeiras, fluviais e lacustres.

A NOAA, em 1970 desenvolveu um dos primeiros mapeamentos de sensibilidade ambiental ao óleo nos Estados Unidos. Em 1978, Gundlach e Hayes fizeram um dos primeiros estudos de vulnerabilidade dos ambientes litorâneos, numa escala de 1 a 10 (Quadro 1), “levando em conta a sensibilidade de um ambiente em relação a sua exposição ao hidrodinamismo e ao tipo de substrato” (WIECZOREK, 2006, p.13). Esse estudo foi iniciado a partir de desastres com derrames de óleo nos anos 1970, como os dos navios petroleiros de Argo Merchant, Metula e acidentes ocorridos nos rios Delaware e Hudson (EUA) (STERN, 2007, p. 15).

ÍNDICE	AMBIENTE
1	Costas rochosas expostas
/2	Costas erodidas
3	Praias de areia fina
4	Praias de areia média
5	Planícies expostas
6	Praias de areia mista ou cascalho
7	Praias de areia grossa
8	Costas rochosas abrigadas
9	Planícies estuarinas abrigadas
10	Marismas e manguezais

Quadro 1: Índice de Vulnerabilidade proposto por Gundlach e Hayes.
Elaboração: GUNDLACH e HAYES, 1978.

Michel; Hayes; Dahlin (1994; 1995) desenvolveram um estudo para o NOAA com base nas classificações utilizadas para a costa americana utilizando uma escala com variação de 1 a 10, para o mapeamento de ambientes lacustrinos, estuarinos e fluviais. Esse documento também definiu modelos de sensibilidade para rios meandantes de médio porte e para bacias hidrográficas que abrangem pequenos rios e córregos, além de abranger os componentes bióticos e socioeconômicos (COSTA, 2013). O Quadro 2 mostra a proposta do índice de sensibilidade ambiental para ambientes fluviais.

ISA	RIOS DE PORTE MÉDIO
1A	Bancos rochosos expostos
1B	Revestimentos sólidos verticais
2	Bancos de rochas, lajes de leitos rochosos
3	Margens erodidas em sedimentos inconsolidados
4	Barras de areia e bancos de baixa declividade
5	Praias mistas de areia e cascalho de baixa declividade
6A	Praia de cascalho de baixa declividade
6B	Enrrocamentos
7	-
8A	Escarpas íngremes vegetadas
8B	Estruturas artificiais sólidas abrigadas
9A	Bancos de vegetação herbácea
9B	Substrato lamoso
10A	-
10B	-
10C	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)
10D	Pântanos de água doce (vegetação de mata)

Quadro 2: Proposta de classificação do Índice de Sensibilidade Ambiental para ambientes fluviais.
Elaboração: MICHEL; HAYES; DAHLIN (1994; 1995).

No quadro 3 é apresentado uma normatização elaborada em 1997 pela NOAA para o mapeamento de sensibilidade da zona litorânea, de seus recursos biológicos e de utilidade humana, intitulado “Environmental Sensitivity Index” (ESI, traduzido como Índice de Sensibilidade Ambiental, ISA) (COSTA, 2013).

ÍNDICE	Environmental Sensitivity Index (Índice de Sensibilidade Ambiental - ISA)
1	Molhes expostos e outras estruturas sólidas impermeáveis.
2	Escarpas e taludes íngremes de argila (barreiras). Plataformas de argila erodidas pelas ondas.
3	Praias de areia fina Escarpas e taludes íngremes de areia
4	Praia de areia grossa
5	Praias mistas de areia e cascalho (ou conchas)
6	Praias de cascalho (ou de conchas) Enrocamentos expostos (para proteção da costa)
7	Planícies de maré (inundáveis) expostas

8	Estruturas artificiais sólidas abrigadas (piers, instalações portuárias, molhes) Enrocamentos abrigados Escarpas abrigadas
9	Planícies tidais (inundáveis) abrigadas Margens de rios com gramíneas e árvores
10	Pântanos salobros e salgados Pântanos de água doce (vegetação herbácea) Pântanos de água doce (vegetação de mata)

Quadro 3: “Environmental Sensitivity Index” (ESI) – NOAA. Fonte: BRASIL (2004, p. 13)

Nos ambientes fluviais, um dos primeiros índices criados foi em 1979, por Owen, feito especificamente para os Lagos Canadenses. Esse índice baseava-se na permanência do óleo no ambiente e, a partir desse índice, a Environmental Canada criou sua proposta (Quadro 4). Após isso, a NOAA (1994) adaptou esse índice para os grandes lagos dos Estados Unidos (Quadro 5).

ISA	TIPO DE MARGEM
	MARGENS ROCHOSAS OU IMPERMEÁVEIS
1A	Escarpa exposta com menos de 1m de elevação
1B	Escarpa exposta de 1 a 5 m de elevação
1C	Escarpa exposta com mais de 5 m de elevação
2	Muro de contenção/estruturas portuárias/ quebra-mar
3	Encostas rochosas
	MARGENS DE SEDIMENTOS INCONSOLIDADOS
4	Escarpa de sedimentos exposta
5A	Praia de areia: deposicional
5B	Praia de areia: erosional ou transitória
6	Barreiras de areia com lagoa
7 ^a	Praia de grânulo
7B	Praia de grânulo/ seixo
7C	7c. Praia de seixo
8	Rip-rap (enrocamentos)
9	Praia de bloco ou calhau
10	Praia mista
	MARGENS VEGETADAS
11	Baixios de bancos vegetados (gramíneas ou árvores)

12	Planície de lama deltaica
13A	Franja de áreas alagáveis
13B	Extensas áreas alagáveis

Quadro 4: Escala de sensibilidade das margens para os Grandes Lagos canadenses - Environmental Canada. Elaboração: MICHEL; HAYES; DAHLIN (1994) - Adaptado por COSTA, 2013.

ISA	TIPO DE HABITAT
1A	Paredões rochosos expostos
1B	Paredões artificiais expostos de concreto, madeira ou metal
2	Encostas rochosas
3	Escarpas de sedimentos inconsolidados
4	Praias de areia
5	Praias mistas de areia e cascalho
6A	Praia de cascalho
6B	Rip-rap (enrocamentos)
7	-
8A	Costões rochosos abrigados
8B	Estruturas artificiais sólidas abrigadas, como quebra-mar
9A	Baixios de bancos vegetados
9B	Planícies de lama/areia
10A	Franja de pântanos
10B	Pântanos extensos

Quadro 5: Escala de sensibilidade das margens dos Grandes Lagos dos EUA. Elaboração: MICHEL; HAYES; DAHLIN (1994) - Adaptado por COSTA, 2013.

Já os mapeamentos realizados nos estudos de Hayes, Michel e Montello (1997) tiveram como objetivo a construção de uma proposta para os rios e córregos do sudeste dos EUA, pois, segundo tais autores, as classificações padronizadas existentes não tratavam de forma adequada às questões pertinentes aos derramamentos de petróleo. A classificação do nível de sensibilidade ambiental dos trechos estudados foi elaborada a partir de dois critérios principais: o grau de dificuldade em conter ou recuperar a área em caso de acidentes envolvendo derrames e a sensibilidade e a vulnerabilidade das zonas alagáveis associadas. (HAYES, MICHEL e MONTELLO, 1997). O índice criado pelos autores avalia fatores como navegabilidade, padrão da drenagem, tamanho do canal, pontos adequados para coletas de óleo, fugas e bifurcação de canais, tempo de residência do óleo e o número de áreas alagáveis (Quadro 6).

ISA	DESCRIÇÃO DO AMBIENTE	BASES PARA A ESCALA
1	Piscinas tranquilas com bancos de baixa sensibilidade.	Não há zonas úmidas vulneráveis. Óleo pode ser recuperado a partir da superfície da água ou direcionado para bancos de baixa sensibilidade.
2	Pequeno canal não navegável com correntes moderadas e bancos de baixa sensibilidade.	Não há zonas úmidas vulneráveis. Uma barragem para conter o fluxo pode ser construída ou o óleo pode ser direcionado para os bancos de baixa sensibilidade.
3	Canais navegáveis com correntes moderadas e bancos de baixa sensibilidade.	Não há zonas úmidas mais vulneráveis. O óleo pode ser direcionado para os bancos de baixa sensibilidade. Com maior dificuldade do que o ISA 2.
4	Pequeno canal não navegável com corredeiras sobre leito rochoso.	Não há zonas úmidas vulneráveis. O óleo pode mover-se rapidamente através da área com prováveis impactos na coluna de água. Barragem para conter o fluxo é uma possibilidade remota e deve ser feita somente se o fluxo for pequeno o suficiente.
5	Canal navegável com corredeiras sobre leito rochoso.	Não há zonas úmidas vulneráveis. O óleo não pode ser recolhido e se move rapidamente através da área. Os impactos na coluna de água são maiores que no ISA 4, com provável e significativa mortandade de peixes.
6A	Pequeno canal não navegável associado a áreas de floresta superior alagáveis de baixa vulnerabilidade	Floresta superior alagável e presença de raros pântanos, mas não altamente vulneráveis por causa da posição elevada ou remota. Coleta de óleo contra bancos do canal de baixa sensibilidade.
6B	Canal navegável associado a floresta superior alagável de baixa vulnerabilidade	Floresta superior alagável e presença de raros pântanos, mas não altamente vulneráveis por causa da posição elevada ou remota. Coleta de óleo contra bancos do canal de baixa sensibilidade.
7	Navegável. Baixo gradiente e correntes variáveis (normalmente < 15 nós). Extensas e baixas planícies de inundação. Braços de córregos, paredes de antigos vales com bancos íngremes compostos por sedimentos lamosos ou paredes rochosas. Outro lado do canal com fuga de água associada a pântanos.	Áreas alagáveis altamente sensíveis presentes de um lado do canal que são vulneráveis a penetração do óleo.
8	Navegável. Baixo gradiente e correntes variáveis (normalmente < 15 nós) com fluxo	Áreas alagáveis altamente sensíveis, presentes em ambos os lados do canal que são vulneráveis à penetração do óleo. Isso

	principalmente confinado ao canal reto com bancos relativamente baixos bem definidos. Extensas e baixas planícies de inundação. Associadas a extensos pântanos.	possibilita que o óleo seja coletado nos bancos de baixa sensibilidade adjacentes a parede alta.
9A	Pequeno canal meandrante não navegável com abundantes pontos de fuga associados a pântanos e a meandros abandonados.	Pântanos altamente vulneráveis presentes em ambos os lados do canal. Pontos de fuga difíceis de fechar. Recuperação e armazenamento muito difíceis. Acesso a pé.
9B	Canais meandrantos navegáveis com abundantes pontos de fugas associados a pântanos e a lagos de meandros abandonados.	Pântanos altamente vulneráveis presentes em ambos os lados do canal. Múltiplos pontos de fuga difíceis de fechar. Recuperação e armazenamento muito difíceis. Acesso a pé.
10A	Pequeno canal anastomosado não navegável com abundantes pontos de fugas em pântanos adjacentes.	Pântanos altamente vulneráveis presentes em ambos os lados do canal. Múltiplos pontos de fuga difíceis de fechar. Recuperação e armazenamento muito difíceis. Acesso a pé.
10B	Canal anastomosado navegável com abundantes pontos de fugas em pântanos adjacentes.	Pântanos altamente vulneráveis presentes em ambos os lados do canal. Múltiplos pontos de entrada de fuga difíceis de fechar. Recuperação e armazenamento muito difíceis. Acesso por barco.

Quadro 6: Proposta de classificação de sensibilidade a derramamento de óleo em pequenos rios e córregos do sudeste dos Estados Unidos.

Elaboração: HAYES; MICHEL; MONTELLO (1997)- Adaptado por COSTA, 2013.

Em 2002, a partir do “Environmental Sensitivity Index” (ESI), o Ministério do Meio Ambiente elaborou um estudo adaptado as condições dos ambientes brasileiros, intitulado “Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo” no qual foi apresentado um índice de sensibilidade do litoral (ISL) (Quadro 7).

ÍNDICE	Classificação para a costa brasileira
1	Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos. Falésias em rochas sedimentares, expostas. Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas.
2	Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos. Terraços ou substratos de declividade média, expostos (terraço ou plataforma de abrasão, terraço arenítico exumado bem consolidado, etc.)
3	Praias dissipativas de areia média a fina, expostas. Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo “long beach”).

	Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos. Campos de dunas expostas.
4	Praias de areia grossa. Praias intermediárias de areia fina a média, expostas. Praias de areia fina a média, abrigadas.
5	Praias mistas de areia e cascalho, ou conchas e fragmentos de corais. Terraço ou plataforma de abrasão de superfície irregular ou recoberta de vegetação. Recifes areníticos em franja.
6	Praias de cascalho (seixos e calhaus). Costa de detritos calcários. Depósito de tálus. Enrocamentos ("rip-rap", guia corrente, quebra-mar) expostos. Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
7	Planície de maré arenosa exposta Terraço de baixa-mar
8	Escarpa / encosta de rocha lisa, abrigada. Escarpa / encosta de rocha não lisa, abrigada. Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados. Enrocamentos ("rip-rap" e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados.
9	Planície de maré arenosa / lamosa abrigada e outras áreas úmidas costeiras não vegetadas. Terraço de baixa-mar lamoso abrigado. Recifes areníticos servindo de suporte para colônias de corais.
10	Deltas e barras de rio vegetadas. Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas. Brejo salobro ou de água salgada, com vegetação adaptada ao meio salobro ou salgado; apicum Marismas Manguezal (mangues frontais e mangues de estuários)

Quadro 7: Índice de sensibilidade do Litoral. Fonte: BRASIL (2002) – Adaptado por Costa, 2013.

No quadro 8, é apresentada uma adaptação do NOAA (1997) para classificação de feições dos ambientes fluviais e lacustres brasileiros para confecção de cartas SAO. Essa escala se baseia nas características biológicas de cada ambiente e não somente o meio físico.

ÍNDICE	AMBIENTE FLUVIAL	AMBIENTE LACUSTRE
1A	Costão rochoso exposto	Costão rochoso exposto
1B	Estrutura antrópica sólida exposta	Estrutura antrópica sólida exposta
2A	Baixio ou afloramento rochoso	Costão rochoso inclinado
3A	Margem exposta erodida com sedimento inconsolidado	Escarpas erodidas de sedimentos inconsolidados
4	Barra de areia e margem suave	Praia de areia
5	Praia com areia e cascalho misturado, com margem suave	Praias com areia e cascalho misturados
6A	Barra de cascalho e margem suave	Praia de cascalho
6B	Rip-rap	Rip-rap
7	-	Planície de maré exposta
8A	-	Costa e escarpas de rocha ou argila abrigadas
8B	Estrutura antrópica sólida abrigada	Estruturas antrópicas sólidas abrigadas
8C	Rip-rap abrigado	Rip-rap abrigado
8D	Barranco vegetado	-
9A	-	Planície de maré abrigada
9B	Margem baixa vegetada	Margem baixa vegetada
10B	Brejo de água doce	Brejo de água doce
10C	Mangue	Pântano

Quadro 8: Classificação ambiental para confecção de cartas SAO (MMA, 2002). Modificada de NOAA (1997). Adaptado por: STERN, 2007, pg. 21

Em 2002, Araújo et. al criaram uma metodologia para sensibilidade ambiental ao derrame de óleo em ambiente fluvial para a Petrobras (2001), onde o foco do estudo eram rios amazônicos. A partir desse estudo e com adaptações da metodologia proposta pelo MMA (2002), para ambientes costeiros, desenvolveu-se um índice de sensibilidade fluvial com variação de 1 a 10, sendo que, 1 indica menor sensibilidade e 10 maior. (Quadro 9)

ÍNDICE	FEIÇÃO
1	Estruturas artificiais
2	Laje ou afloramento rochoso
3	Corredeira/ cachoeira
4	Escarpa/ Barranco
5	Praia ou banco de areia/ seixo exposta
6	Praia ou banco de areia/ seixo abrigada

7	Praia ou banco de lama exposto
8	Praia ou banco de lama abrigado
9	Zona de confluência de rios e lagos
10 ^a	Banco de macrófitas aquáticas
10B	Vegetação alagada (igapós, várzea, chavascal, campo etc.)

Quadro 9: Índice de sensibilidade fluvial da região amazônica a derrames de óleo.
Elaboração: ARAÚJO; SILVA; MUEHE, 2006, p. 39.

Por fim, sobre os ambientes terrestres, temos o estudo elaborado em 2003 por Oliveira et. al através do Índice de Sensibilidade Terrestre (IST) – Similar a NOAA (1997) e MMA (2002) – classifica as áreas quanto a sua sensibilidade baseadas tanto em parâmetros do meio físico, quanto o valor de uso e ocupação do solo (Quadro 10).

IST	PAISAGEM
1	Relevo montanhoso, zonas escarpadas e pequenos caudais de descarga rápida, encaixados com afloramentos rochosos.
2	Relevo montanhoso a colinoso, zonas serranas com drenagem menos densa, vales com vertentes. Leitos pouco acidentados, trechos arenosos com frequentes corredeiras.
3	Relevo colinoso a subcolinoso. Zona de transição entre as serras e planícies. Drenagem diminuindo de densidade e várzeas amplas nos talwegues. Arenoso com descarga lenta e margens regulares.
4	Relevo subcolinoso a plano no interflúvio de grandes rios de planície. Baixa densidade de drenagem, amplas várzeas e leitos aluviais. Grandes caudais com lenta descarga e trechos estagnados.
5	Relevo plano, várzeas, zonas de confluência e estuarinas. Drenagem meandrante e anastomosada. Leitos aluviais areno argilosos. Grandes caudais com lenta descarga ou drenagem estagnada formando áreas inundadas ou com influência das marés.
5C	Relevo cárstico

Quadro 10: Classificação de Vulnerabilidade a derrame de petróleo e derivados em áreas continentais brasileiras, modificado de Oliveira et. al. (2003). Adaptado por: STERN (2007, p. 29).

Considerando as publicações dos autores/instituições acima descritas, essa pesquisa desenvolveu um banco de dados que contempla as feições geomorfológicas marginais encontradas nos rios de porte médio do Estado de São Paulo. Esse banco de dados busca descrever a sensibilidade desses ambientes ao derrame de petróleo e derivados.

3. ÁREA DE ESTUDO

O foco de estudo da pesquisa (figura 1) são os três rios de porte médio do Estado de São Paulo (rio Grande, Tietê e Paranapanema).

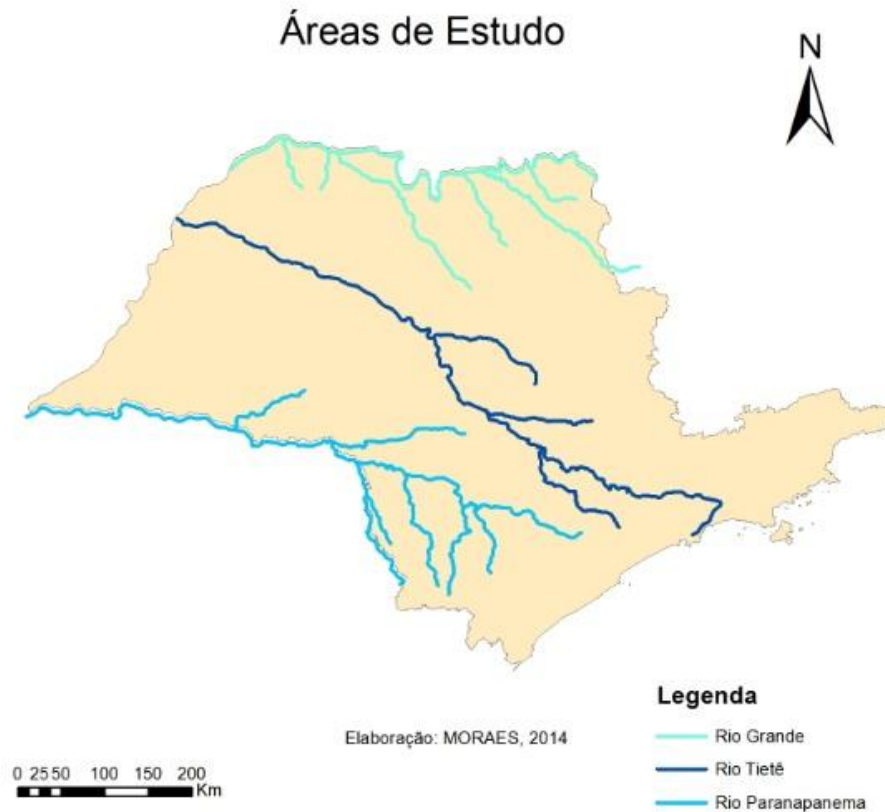


Figura 1: Mapa da localização das áreas de estudo.
Elaboração: MORAES, A. G, 2014.

3.1 Rio Tietê

O rio Tietê, nasce próximo a Serra do Mar, a 840 metros de altitude, a 25 km da cidade de Salesópolis (SP) e a 22 km do Oceano Atlântico. Atravessa o Estado de São Paulo na direção sudeste-noroeste por uma extensão de 1.050 km, até atingir a sua foz, no Rio Paraná, junto à cidade de Itapura (MORTATTI et al., 2004, p. 54). A ocupação da região começou com a fundação da Vila Piratininga, há mais de 450 anos, quando o rio Tietê foi considerado pelos Jesuítas como o principal motivo para a instalação do povoado que deu origem à Grande São Paulo de hoje. É o maior rio do Estado de São Paulo e tem sua história intrinsecamente relacionada com as atividades humanas desenvolvidas em seu entorno, que causaram a degradação de suas águas, sobretudo no trecho do Alto Tietê, local onde o rio se espalha em sua várzea.

A importância desse rio vai além da questão histórica, visto que seu valor econômico é extremamente ressaltado. “As atividades remontam ao início da colonização portuguesa, a um tempo em que toda a vida da então capitania de São Paulo circulava pelas águas desse rio” (ZANIRATTO, 2011, p. 118).

Na questão climatológica, Mortatti et al, (2004, pg. 58) diz

Na bacia do Rio Tietê, segundo classificação de Köppen, a região mais à montante apresenta-se com um clima situado no limite da zona Cfb (sem estação seca, verões tépidos) com a zona Cwb (inverno seco), ocorrendo, no mês mais seco, chuvas entre 30 e 60 mm. Em regiões mais à jusante, predominam o tipo Cwb nas partes mais elevadas e o tipo Cwa na Depressão Periférica, uma das principais zonas geomorfológicas do Estado de São Paulo (Projeto Qualised, 2003).

Por se tratar do maior rio do Estado de São Paulo, seu estudo normalmente é feito através de divisões: Alto Tietê, Médio e Baixo Tietê. Para caracterizar tal área, será utilizada essa divisão.

3.1.1. Bacia do Alto Tietê

Segundo a FUSP (2008, p. 2), em seu Plano da Bacia do Alto Tietê:

A Bacia do Alto Tietê a montante da barragem de Pirapora abrange uma área de drenagem de 5.720 km², incluída a bacia integral do rio Pinheiros com as sub- bacias dos reservatórios Billings e Guarapiranga. A bacia hidrográfica do Alto Tietê tem um comprimento de cerca de 130 km, e larguras variando entre menos de 10 até pouco mais do que 70 km. As linhas de drenagem apresentam nítida orientação segundo as direções E-W a ENE-WSW.

Relacionada com as declividades, o rio Tietê apresenta sucessões e intercalações de trechos com características torrenciais de aprofundamento dos talwegues assim como de planícies. Nos seus trechos iniciais, destacam-se os primeiros 15 km de cabeceiras tradicionais, com declividades variando, conforme o sub-trecho, entre 7 e pouco mais de 40m/km. Na porção de jusante, no município de Santana de Parnaíba, ocorrem sub-trechos torrenciais, com declividades compreendidas entre 1,5 e 5 m/km, fato este, porém mascarado pelos lagos das barragens Edgard de Souza e Pirapora. Quanto aos demais trechos, predominam as características de cursos de planície, com baixas declividades. Destaque-se o trecho situado a montante da barragem da Penha, até além de Mogi das Cruzes, cuja declividade, computada ao longo do curso meandrado do rio, com 124.300m de extensão, é de apenas 9 cm/km (FUSP, 2008, p. 3).

O alto Tietê está inserido na unidade morfoescultural do cinturão Orogênico do Atlântico, que é sustentado por litologias diversas, normalmente metamórficas associadas com rochas intrusivas. As formas dominantes são os topos convexos e a elevada densidade de drenagem, com vales profundos (ROSS; MOROZ, 1997, p. 49).

3.1.2 Sub-Regiões do rio Tietê – Alto Tietê

Por possuir grandes extensões, a Bacia do Alto Tietê foi dividida em sub-bacias para facilitar a sua descrição (figura 2).

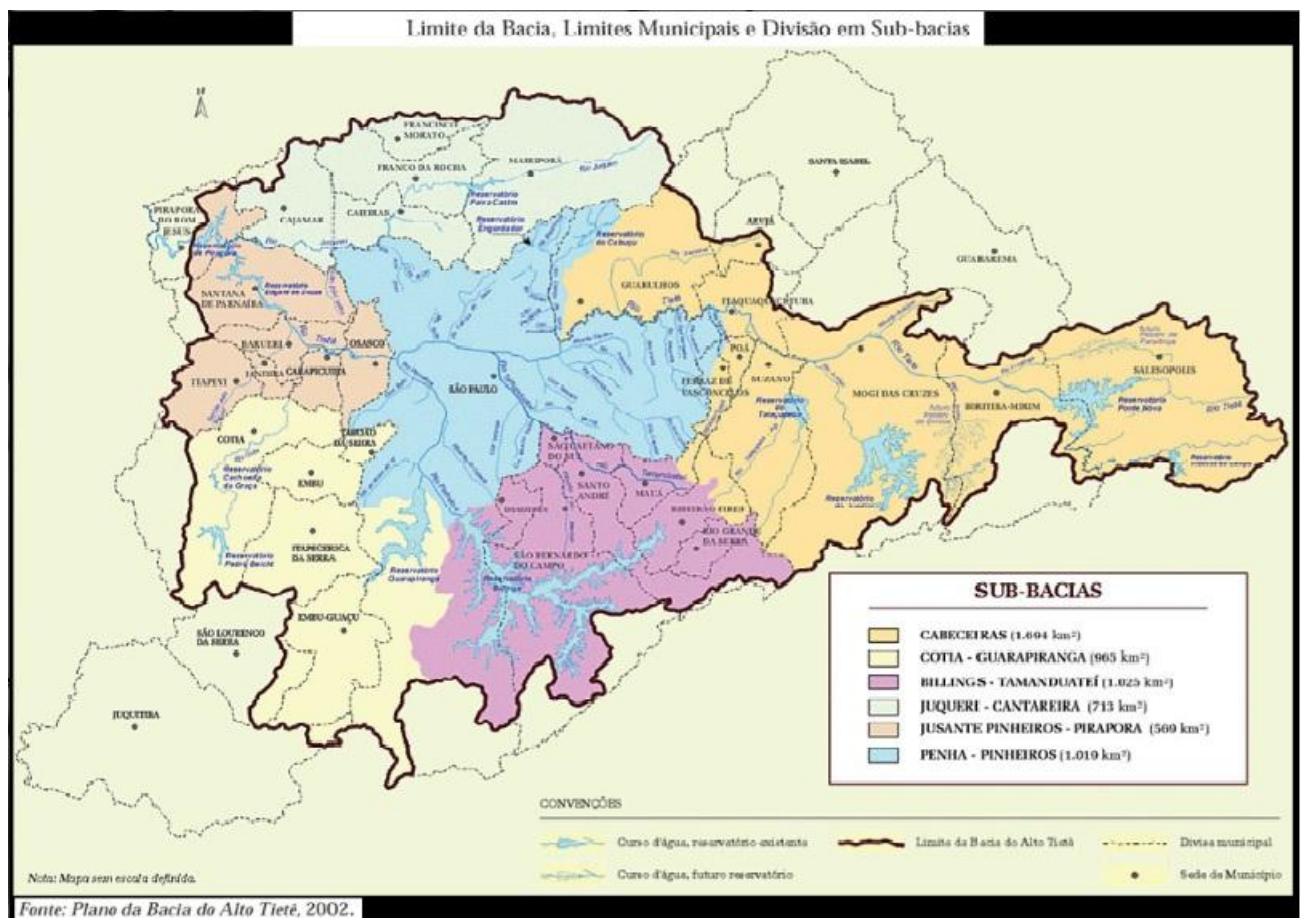


Figura 2: Mapa das sub-bacias do Alto Tietê.

Fonte: Plano da Bacia do Alto Tietê, 2002.

A sub região Cabeceiras, abrange toda a bacia hidrográfica do rio Tietê em seu trecho a montante da barragem da Penha, e os três grupos litológicos principais que ocorrem nesta área são: as rochas cristalinas proterozóicas, os sedimentos terciários da bacia de São Paulo e os sedimentos aluviais quaternários (FUSP, 2008, p. 17).

Os sedimentos aluviais presente nesse ambiente constituem as amplas várzeas, tanto do rio Tietê, desde jusante da barragem de Ponte Nova até a barragem da Penha, como de diversos de seus tributários. Em termos estruturais ressalta-se, a orientação das diversas

lineações ocorrentes, resultado de importantes falhamentos transcorrentes em toda sua extensão. Por sua escala regional, destacam-se as falhas de Taxaquara (em parte da área), de Cubatão e de Natividade. Delimitando a borda Sul ocorre também um falhamento marcante designado Bairro Alto. Para fins de avaliação do grau de dissecação do relevo, o grau de entalhamento médio dos vales, varia entre muito fraco ($< 20\text{m}$) e fraco (de 20 a 40m). (FUSP, 2008, p. 17).

A sub região de Pinheiros, corresponde a Serra da Cantareira, de constituição Granítica, e apresenta, em pequena área à SW, sedimentos terciários do Grupo Taubaté. A topografia dessa área foi modelada em sedimentos terciários sob a forma de colinas que propiciam a visualização de afloramentos (FUSP, 2008). Litologicamente esta sub-região apresenta, ainda, uma unidade litológica importante, dos sedimentos aluviais constituindo e recobrando as várzeas dos rios. De modo geral, a Formação Resende constitui a base destas colinas e a Formação São Paulo o topo e as cristas deste relevo. De fato, grandes falhamentos transcorrentes como Taxaquara e Caucáia atingem esta sub-região, provenientes de oeste, prosseguindo juntos, para leste, por baixo do talvegue do rio Tietê. Desta forma o embasamento se apresenta, sob a várzea do rio Tietê, com um relevo subterrâneo extremamente irregular.

Segundo a FUSP (2008, P. 18):

O rio Tietê e seus afluentes tinham originalmente traçados intensamente meandantes em decorrência das baixas declividades de suas várzeas. Em decorrência do processo de urbanização de São Paulo, a maioria destes rios sofreu obras de retificação, para fins de regularização do terreno e o preenchimento das antigas calhas, com 5-6m de profundidade e ao longo de muitos quilômetros, com aterros os mais diversos.

Quanto ao grau de dissecação do relevo, o grau de entalhamento da classe predominante é o médio (40 a 80m) (FUSP, 2008, p. 18)

Na sub-região Juqueri-Cantareira (FUSP, 2008) as rochas dominantes são de natureza metamórfica, pertencentes ao Grupo São Roque, datado do Proterozóico Superior. Há ocorrências pontuais, principalmente no entorno de Franco da Rocha, de sedimentos terciários da Bacia de São Paulo. Trata-se muito provavelmente de testemunhos do processo erosivo a que estes depósitos foram submetidos.

Estruturalmente, ressalta-se a presença de lineações inerentes às próprias rochas e aos sistemas de fraturas, além de dois falhamentos muito importantes, de natureza transcorrente e de âmbito regional. Ressalta-se o forte controle estrutural exercido pelos elementos estruturais das rochas sobre a drenagem regional. Para a avaliação do grau de dissecação, o grau de

entalhamento dos vales variando entre fraco (20 a 40m) e forte (80 a 160m) (FUSP, 2008, p. 19).

Já a sub-região Pinheiros-Pirapora, correspondente ao trecho jusante do Alto Tietê, apresenta-se predominantemente constituída por rochas do Embasamento Cristalino.

A sub-região Cotia-Guarapiranga é constituída quase que integralmente por rochas cristalinas do Embasamento, “com exceção de pequenas áreas situadas nas vertentes do rio Embu-Guaçu e no topo do divisor de águas entre as represas de Guarapiranga e Billings, constituídas por sedimentos terciários” (FUSP, 2008, p. 20).

Estruturalmente, além das lineações inerentes aos micaxistos, menciona-se que esta sub-região é atravessada, segundo a mesma direção geral SW-NE, pela falha de Caucaia, que tem continuidade por sob os sedimentos terciários de São Paulo e o grau de entalhamento predominante é da Classe Fraco (de 20 a 40m) (FUSP, 2008).

Já na sub-região Billings-Tamanduateí, apesar de suas dimensões relativamente reduzidas, ocorre grande diversidade litológica com ocorrências principalmente de estruturas do embasamento cristalino, assim como sedimentos terciários, além de depósitos aluviais (FUSP, 2008). Os sedimentos terciários, que se constituem de testemunhos de erosão estão presentes nas vertentes da bacia do Médio Tamanduateí, no setor norte da sub-região, e em áreas restritas da vertente oeste do rio Grande, principal formador da represa Billings.

Quanto aos depósitos aluviais, em quase sua totalidade está presente nas nascentes e nos trechos altos das bacias hidrográficas do rio Tamanduateí e da represa Billings. Por abranger áreas de constituição cristalina e terciária, devem ser consideradas as duas condições para a avaliação do grau de dissecação: nas áreas cristalinas as dimensões interfluviais variam entre muito pequena (< 250m) e pequena (250 a 750m); o grau de entalhamento dos vales varia desde muito fraco (<20m) a fraco (20 a 40m). Nas áreas de constituição terciária predomina a classe média (750 a 1.350m) para as distâncias interfluviais, sendo o grau de entalhamento fraco (20 a 40m) (FUSP, 2008).

3.1.3 Bacia do Médio Tietê

A Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê foi definida como a “Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI 10 -Tietê/Sorocaba” pela Lei no 9.034/94, de 27/12/1994, que dispôs sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos para o biênio 1994/95 (Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê, 2008, p. 6). Essa bacia está localizada no centro-sudeste do Estado de São Paulo e abrange 54 municípios, dos quais 34 com sede em seu território e 20 possuindo apenas porções rurais (figura 3).

vários pontos de erosão são indicados na bacia, sendo que a sub-bacia 1 – Médio Tietê Inferior é a que apresenta a maior suscetibilidade a erosão.

Segundo a classificação climática proposta por Köeppen, ocorrem três tipos climáticos nessa região da bacia: clima úmido quente com inverno seco, predominante na área da UGRHI, a oeste da cidade de Sorocaba; clima quente úmido sem estação seca, próximo aos municípios de Ibiúna e Piedade; e clima temperado úmido sem estação seca próximo ao município de São Roque. (Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê, 2008, p. 8)

No trecho superior da Bacia do Médio Tietê, encontram-se a presença do relevo de colinas aplainadas, fator que favoreceu a ocupação do território por atividades agrícolas como cana, citrus, pastagens e reflorestamento (Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Sorocaba e Médio Tietê, 2008).

Com relação à rede de drenagem, Almeida, (1964) descreve ser uma região de drenagem bastante organizada, em que se destacam o Tietê e seus dois afluentes, o Piracicaba e o Sorocaba. O padrão geral da drenagem é dendrítico, notando-se, porém algum controle estrutural a partir de diáclases e da presença de corpos litológicos mais resistentes, especialmente de diabásio (SILVEIRA e CUNHA, 2006, p. 3).

3.1.4 Bacia do Baixo Tietê

Essa Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI 19 (figura 4) - localiza-se na região oeste do Estado de São Paulo; é composta por 42 municípios e abriga cerca de 2% da população do estado de São Paulo, sendo que 95% da população vive em áreas urbanas (Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê, 2009, p.4).

inferiores a 100m – (Colinas Amplas e Colinas Médias) (Comitê da Bacia Hidrográfica do Baixo Tietê, 2009, p.20).

3.2 Bacia do Rio Grande

A nascente do Rio Grande localiza-se na Serra da Mantiqueira, no município de Bocaina de Minas (MG), a uma altitude aproximada de 1.980 metros. A partir das cabeceiras seu curso tem o sentido SW - NE, até a divisa dos municípios de Bom Jardim de Minas e Lima Duarte, onde passa a escoar no sentido S - N até a altura de Piedade do Rio Grande. A partir daí, seu curso tem sentido para Noroeste, sendo mantido até a divisa de Rifaina (SP) e Sacramento (MG), onde passa a correr no sentido Leste - Oeste até desaguar no rio Paraná, na divisa dos municípios de Santa Clara do Oeste, na vertente paulista, e Carneirinho, na vertente mineira. (IPT, 2008).

Segundo o Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (IPT, 2008, p. 5):

A Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG) situa-se na Região Sudeste do Brasil, na Região Hidrográfica Paraná que, em conjunto com as Regiões Hidrográficas Paraguai e Uruguai, compõe a Bacia do Prata. Abrange área de drenagem de 143.437,79 km², dos quais 57.092,36 km² (39,80%) encontram-se dentro do Estado de São Paulo e 86.345,43 km² (60,20%) no Estado de Minas Gerais.

A figura 5 mostra a divisão do Rio Grande e seus comitês de bacias.



Figura 5: Divisão do Rio Grande e seus comitês de bacia.

Fonte: Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande, 2008.

Na área da BHRG ocorrem rochas de quatro grandes províncias litoestruturais em que se divide a Plataforma Brasileira: São Francisco (13% da área), Mantiqueira (30 a 40%), Tocantins (5%) e Paraná (50%), as três primeiras do embasamento cristalino, de natureza ígnea e metamórfica e, a última, sedimentar com intrusivas básicas associadas. Além dessas rochas ocorrem sedimentos quaternários associados às calhas de cursos d'água e coberturas cenozoicas. (IPT, 2008, p. 6)

A província do São Francisco é formada por estruturas geológicas com idades que variam do mesoarqueano ao arqueano-paleoproterozóicas (ALMEIDA, 1977, 1981; MARSHAK e ALKMIM 1989; PINTO, 1996; TEIXEIRA et al., 2000 apud ALEXANDRINO, 2008, p. 7). A Província Mantiqueira representa um sistema orogênico Neoproterozóico, (ALMEIDA *apud* ALEXANDRINO, 2008, p.10). Esta Província desenvolveu-se durante a orogenia Neoproterozóica Brasileiro - Pan Africana, a qual resultou na amalgamação do paleocontinente Gondwana Ocidental. Na província Tocantins, encontra-se unidades geológicas com estratos no intervalo de tempo do Arqueano ao Neoproterozóico (ALEXANDRINO, 2008, p. 11). Por fim, a Bacia do Paraná, representa uma fossa tectônica encravada no escudo pré cambriano e constitui-se de rochas cristalinas pré cambrianas e subordinadamente por rochas eopaleozóicas afossilíferas. A bacia encontra-se preenchida por sedimentos na maior parte continentais e marinhos, do Siluriano Superior, Devoniano Inferior, Carbonífero Superior, Permiano, Triássico, Jurássico e Cretáceo (ROSS; MOROZ, 1997, p. 49)

Essa bacia apresenta presença expressiva em termos territoriais, visto que toda a bacia possui 143.437,79 km²; estando inserida dentro de um grande número de municípios (393) e com significativa população (7,8 milhões de habitantes). Por fim, configura-se como a Bacia de divisa de dois importantes Estados brasileiros: Minas Gerais, a norte, e São Paulo, a sul.

Por se referir a uma extensa área (direção leste-oeste, cerca de 800 km), inclui diversificados ambientes, desde aqueles típicos da região centro-oeste do país, como os relevos pouco movimentados e arrasados pela evolução geomórfica, cobertos por vegetação de cerrado, até áreas movimentadas, montanhosas e típicas da costa sudeste do Brasil, com Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica).

3.3 Bacia do Paranapanema

A Bacia do Paranapanema está localizada nas unidades hidrográficas paranaenses e paulistas. A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Pontal do Paranapanema inclui a bacia do rio Santo Anastácio e outros tributários que drenam

diretamente para o rio Paraná, totalizando uma área aproximada de 105.921 km², tendo uma população total de 4.625.552 habitantes (ROCHA; ARAÚJO, 2013, p. 6).

Em território paulista, a bacia compreende hidrograficamente, um conjunto de unidades e sub-bacias na margem direita do rio Paranapanema, que está na área de três Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) e respectivos comitês atuantes do Estado de São Paulo: Alto Paranapanema (UGRHI-14), Médio Paranapanema (UGRHI-17), e Pontal do Paranapanema (UGRHI-22).

Em virtude da sua posição geográfica, a bacia do rio Paranapanema se desenvolve em diversos ambientes, climáticos, geológicos e geomorfológicos, e segundo o IPT (1981) citado por Rocha e Araújo (2011, p. 6):

A geologia regional da bacia do rio Paranapanema, é composta por um conjunto diversificado de rochas, variando litologicamente de sedimentos recentes à sequências Paleozóicas. Na porção E (leste) localizada nas nascentes do rio Paranapanema e Itapetininga estendendo para porção sul da cabeceira do rio Tibagi, pode-se identificar rochas do Pré-Cambriano que integram o Escudo Cristalino da Plataforma Sul-Americana, com destaque para sedimentos Epimetamórficos do Grupo Açungui. Além das unidades litoestratigráficas do Planalto Atlântico, a maior parte das unidades situa-se na bacia sedimentar do Paraná, que tem sua origem desde o Devoniano Inferior. Destacam-se os afloramentos dos derrames basálticos (Serra Geral) e as rochas areníticas.

A maior parte da bacia do rio Paranapanema está inserida na Bacia Sedimentar do Paraná, que engloba unidades geomorfológicas como a Depressão do Paranapanema, Planaltos Residuais e o Planalto Ocidental Paulista na margem paulista. As cotas altimétricas presentes nesta bacia hidrográfica, contado de sua foz até os divisores das cabeceiras de drenagem tem 1126 m, com a menor cota de 230 na confluência do rio Paranapanema com o rio Paraná. As maiores cotas altimétricas situam-se as áreas de cabeceira do rio Paranapanema, englobando as áreas drenadas pelo planalto atlântico e os relevos da borda dos planaltos (ROCHA e ARAÚJO, 2011, p.7).

3.3.1. Bacia do Alto Paranapanema

Está incluído na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos n. 14 (UGRHI – 14), que localiza-se na região SW do Estado de São Paulo (figura 6) e a drenagem da área é de 22.550 km². É formada por 34 municípios, os maiores deles são: Itapetininga (112.153 hab), Itapeva (77.694 hab), Capão Bonito (46.415 hab), Itararé (44.978 hab), Piraju (26.400 hab) e São Miguel Arcanjo (27.471 hab), segundo o Censo Demográfico de 1996.

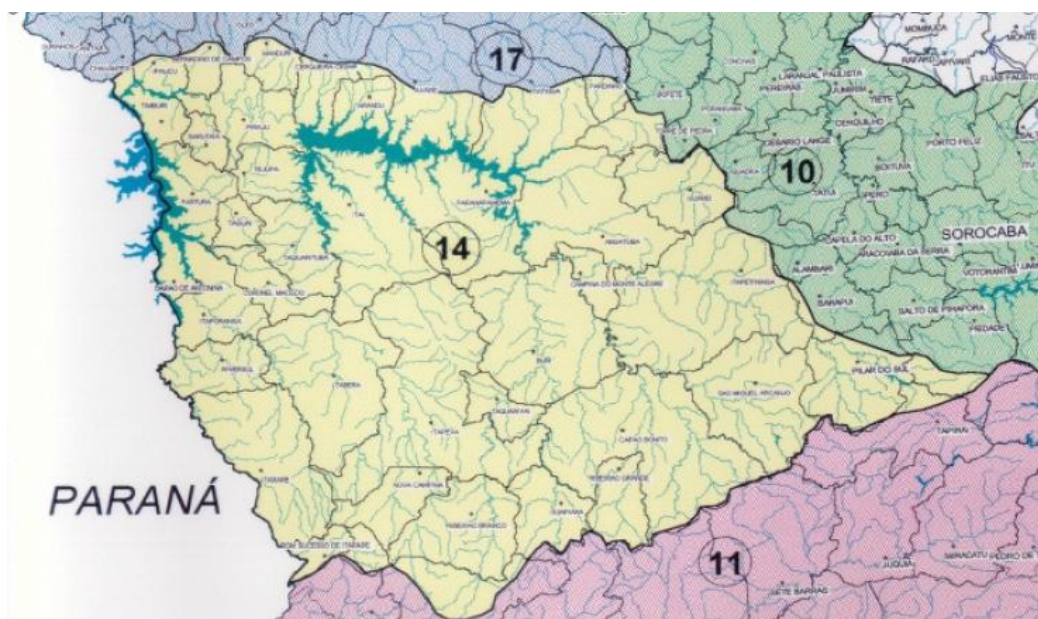


Figura 6: Mapa da localização da UGRHI 14.

Fonte: Centro Tecnológico da Fundação Paulista de Tecnologia e Educação, 2011.

A bacia do Alto Paranapanema está localizado em 2 unidades morfoestruturais distintas: as cabeceiras estão no cinturão orogênico do Atlântico e seus médio e baixos cursos estão na Bacia do Paraná (bacia sedimentar). Geologicamente, podemos identificar na porção SE rochas epimetamórficas (metassedimentos argilosos, arenosos e carbonáticos – Grupo Açungui – Complexo Pilar), e ainda, nessa porção, observam-se corpos graníticos (Batólitos de Três Córregos e Agudos Grandes). Na porção da bacia sedimentar, podem ser encontradas também, rochas vulcânicas básicas (IPT, 1981).

As formas de relevo que predominam em parte dessa região são as denudacionais, representadas por morros baixos e topos convexos, com altitudes entre 700 e 800m e declividades entre 20 e 30 %. Os vales tem entalhamento variando de 20 a 40 m e a dimensão interfluvial entre 250 e 750 metros. O padrão da drenagem é dentrítica e o nível de fragilidade é de médio a alto, com fortes atividades erosivas. Nos domínios da Bacia Sedimentar, o relevo dominante é o denudacional, com colinas e topos convexos e tabulares, com altimetria variando de 600 a 700 m, com vertentes de 10% a 20% de declividade. O padrão de drenagem nessa região é paralelo e os vales tem entalhamento de até 20 m. Por fim, nas planícies fluviais são encontrados sedimentos arenoso e argilosos inconsolidados com grande potencial de fragilidade (resultado das inundações periódicas) e que estão sujeitos à acomodações constantes (Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema, 2011, p. 33).

3.3.2. Bacia do Médio Paranapanema

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17) abrange uma área de 16.749 km², agregando os tributários da margem direita do

curso médio do rio Paranapanema. Essa bacia distribui-se por 42 municípios e localiza-se na porção centro-oeste do Estado de São Paulo (figura 7).

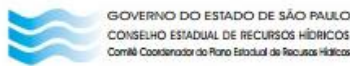


Figura 7: Mapa do Médio Paranapanema.
Fonte: Comitê PCJ.

As unidades geológicas existentes nessa bacia estão relacionadas com os afloramentos de rochas sedimentares e ígneas de idade predominantemente Mesozoica e depósitos recentes do Cenozóico. A Bacia Sedimentar do Paraná está presente em toda extensão da Bacia do Médio Paranapanema, com rochas que datam do Siluriano e do Devoniano.

Essa unidade da bacia está inserida na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental (embasamento pertencente ao Grupo Bauru) comporta relevos monótonos com predomínio de colinas amplas e baixas com topos aplainados e morros, e, constitui a continuidade física do reverso das Cuestas Basálticas (IPT, 1981); no vale dos rios Pardo e Paranapanema ocorrem basaltos da formação Serra Geral. A estrutura regional possui camadas sub-horizontais e uma plataforma nivelada com cotas de 500 m; na foz do rio, as cotas chegam a 247 m de altitude.

Os rios do Planalto Ocidental possuem drenagem organizada e rios consequentes com a drenagem principal em padrão paralelos. Rápidos e corredeiras são muito comuns ao longo do curso fluvial e são condicionadas pelo embasamento basáltico. Próximo dos divisores de água das cabeceiras ocorre ramificações na drenagem.

3.3.3. Bacia do Baixo Paranapanema (Pontal do Paranapanema)

A bacia do Baixo Paranapanema está inserida na UGRHI-22 (Unidade Hidrográfica de Gestão dos Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema) e caracteriza-se por sua localização no extremo oeste do estado de São Paulo (figura 8), na área limítrofe com os estados do Mato Grosso do Sul e do Paraná. São 26 os municípios integrantes e uma área de 11.838 km².



Figura 8: Mapa com os municípios pertencentes ao Baixo Paranapanema.

Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema.

As unidades litoestratigráficas que ocorrem nessa área são constituídas por rochas sedimentares e ígneas da bacia do Paraná, de idade Mesozóica, e depósitos sedimentares

recentes, de idade Cenozóica da Bacia Sedimentar do Paraná (CTPI, 1999). As principais formações geológicas são as areníticas do Grupo Bauru (Cretáceo Superior) e em menor escala os basaltos do Grupo São Bento. Está integralmente inserida na Província Geomorfológica do Planalto Ocidental e apresenta um relevo com predominância de colinas amplas e médias, morrotes e espigões alongados, planícies aluviais e chapadões areníticos rebaixados pela erosão.

O relevo de colinas amplas e médias são aquelas onde predominam interflúvios com áreas superiores de 1 a 4 km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos (GONÇALVES E ROCHA, 2010, p. 7). A drenagem é de baixa densidade com padrão subdendrítico e vales abertos; possui planícies aluviais interiores restritas e presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

Com relação ao relevo de morrotes, este é composto principalmente por morrotes alongados e de espigões, onde predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, com padrão dendrítico, vales fechados.

4. MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS.

4.1 Materiais

Para a realização da pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais:

Referencial Bibliográfico: Disponível na biblioteca da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Rio Claro, e pesquisas em bases virtuais.

Produtos de sensores remotos: Imagens orbitais do Google Earth®

Softwares: Foi utilizado o software ArcGIS 10® para identificação e avaliação das feições geomorfológicas e edição final. Nesse software foi possível criar “links” entre as imagens do Google Earth® e os quadros explicativos das feições geomorfológicas.

Equipamentos de informática: Microcomputadores e impressoras disponíveis no laboratório de Geomorfologia (LAGEO), no Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento (DEPLAN), e na UNESPetro (Centro de Geociências Aplicadas ao Petróleo), ambos localizados na UNESP, campus de Rio Claro.

4.2 Métodos

O presente trabalho enquadra-se na linha da Geomorfologia, em uma abordagem metodológica dedutiva, que, utilizando-se de premissas conhecidas, busca analisar e explicar casos que se encaixem nas situações pesquisadas.

A Teoria Geral dos Sistemas, como orientação metodológica foi adotada em relação à análise dos atributos

De acordo com Cunha (2001, p. 35):

(...) com relação à Geomorfologia, verifica-se que é impossível compreender o relevo sem considerar os fluxos de matéria e energia responsáveis por sua gênese e esculturação. Desse modo, entendendo-se as formas de relevo como fruto da interação da estrutura geológica, do clima, atual e passado, e, atualmente, da atividade antrópica, cujas relações interferem nas características pedológicas e na cobertura vegetal, verifica-se que a visão sistêmica possibilita estabelecer e analisar as inter-relações, assim como compreender os vínculos de dependência entre esses fatores.

4.3 Técnicas

4.3.1 Elaboração do Banco de Dados

Para atingir o objetivo da pesquisa, foi elaborado um Banco de Dados contendo as feições geomorfológicas dos rios de porte médio do estado de São Paulo, juntamente com tabelas explicativas sobre a sensibilidade de tais feições a derrames de óleo.

Google Earth®

Segundo o Guia do Usuário, 2014, “O Google Earth® permite a visualização de imagens, mapas, terrenos e construções em 3D a partir de imagens de satélite por meio de um globo virtual”. É um aplicativo gratuito, que pode ter diversos usos e, por essas características e pela sua funcionalidade, foi escolhido como ferramenta básica para a aquisição de imagens contendo feições geomorfológicas marginais.

Inicialmente, utilizando-se do Google Earth®, foram capturadas imagens dos rios Tietê, Paranapanema e Grande que apresentavam variadas feições geomorfológicas fluviais e que pudessem ser associadas a diferentes índices de sensibilidade a derrames de óleo. Para isso, foram analisados os cursos dos três rios, de jusante para montante, a fim de verificar mudanças na dinâmica fluvial que acarretassem alterações nas feições geomorfológicas e com isso na sensibilidade ambiental.

Após a escolha das imagens, iniciou-se o uso do software ArcGis 10®.

É importante salientar que todas as imagens, tabelas e arquivos associados ao ArcGis 10® foram salvas numa pasta (projeto_prh_1) encontrada no Disco Rígido Local > Disco Local (C:) do computador, para que não houvessem erros em nenhuma etapa da pesquisa que envolvesse a utilização desse software.

ArcGis 10®

Segundo Silva; Machado (2010, p. 5)

O ArcGis é um conjunto integrado de softwares de SIG produzido pela empresa americana ESRI (Environmental Systems Research Institute), que fornece ferramentas baseadas em padrões para a realização de análise espacial, armazenamento, manipulação, processamento de dados geográficos e mapeamento

Para a criação do banco de dados, foi iniciado o programa ArcMap®  e utilizou-se o ícone ‘Add Data’  (Figura 9), com isso, uma janela se abre e é possível encontrar a pasta com as imagens do Google Earth® (C:/projeto_prh_1/Imagens_PRH/ponto14.jpg).

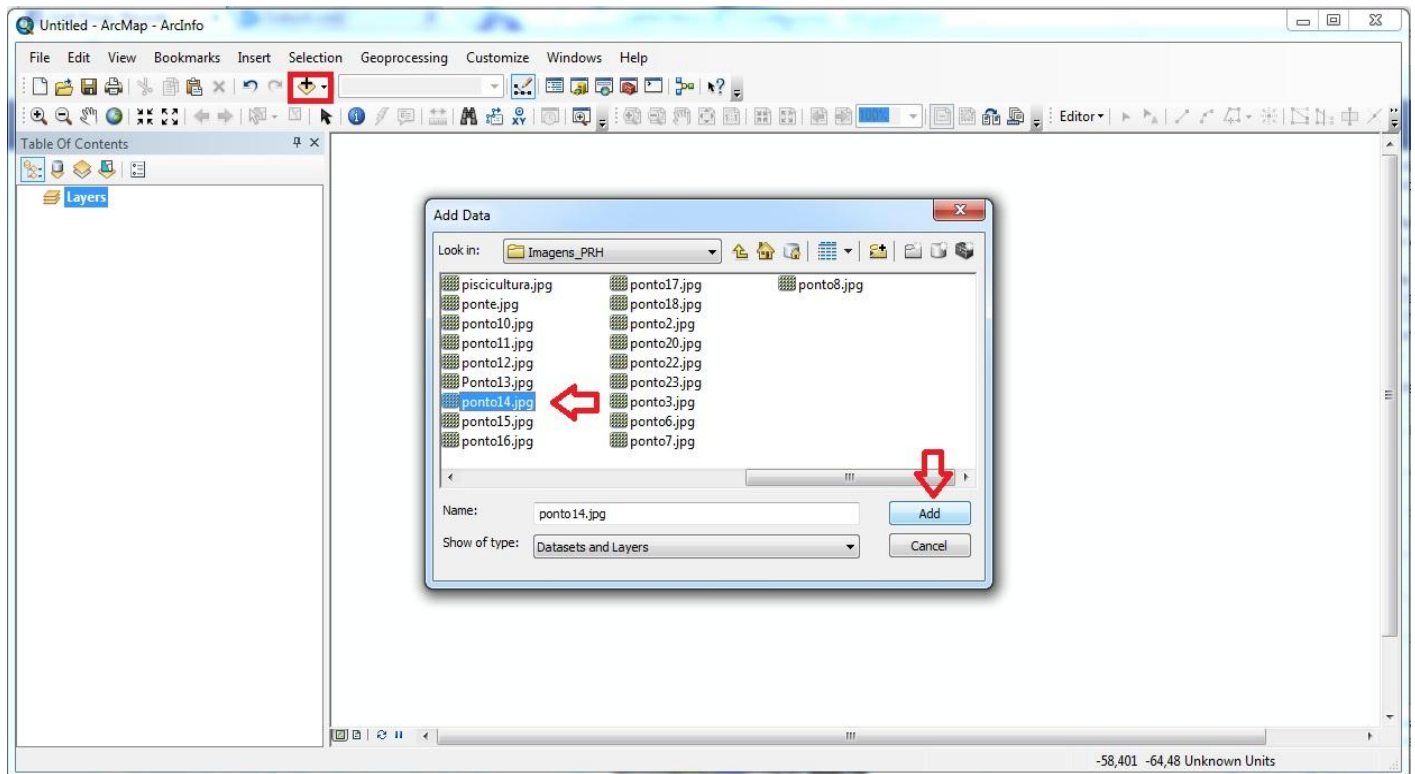


Figura 9: Print da tela inicial do ArcMap®.
Elaborado por: MORAES, A. G, 2014.

É importante lembrar que a imagem, nessa fase, ainda está **sem** sistema de coordenada geográfica; então deve-se clicar com o botão direito do mouse sobre a imagem e escolher a opção Properties > Data Frame Properties > Coordinate System > Projected Coordinate System > UTM > WGS 1984 (utilizada pelo Google Earth) > Southern Hemisphere > WGS 1984 UTM Zone 23S (o fuso horário pode variar dependendo da localização). A seguir pode ser realizado o georeferenciamento da imagem.

O próximo passo foi localizar a cidade onde a imagem se encontra, e para isso, foi necessário adicionar um 'New Data Frame' (Insert > Data Frame) no qual acrescentou-se um shape do Estado de São Paulo (c:\projeto_prh_1\Sao_Paulo_Municipios.shp) e um layer da drenagem (C:\projeto_prh_1\Layers\Hidrografia_tietê.lyr) (Figura 10). Abrindo a tabela de atributos no shape do Estado de São Paulo, clicou-se com o botão direito sobre o shape > Open Attribute Table > nome de todos os municípios > selecionar a cidade desejada para que esta fique em evidencia no mapa do Estado de SP.

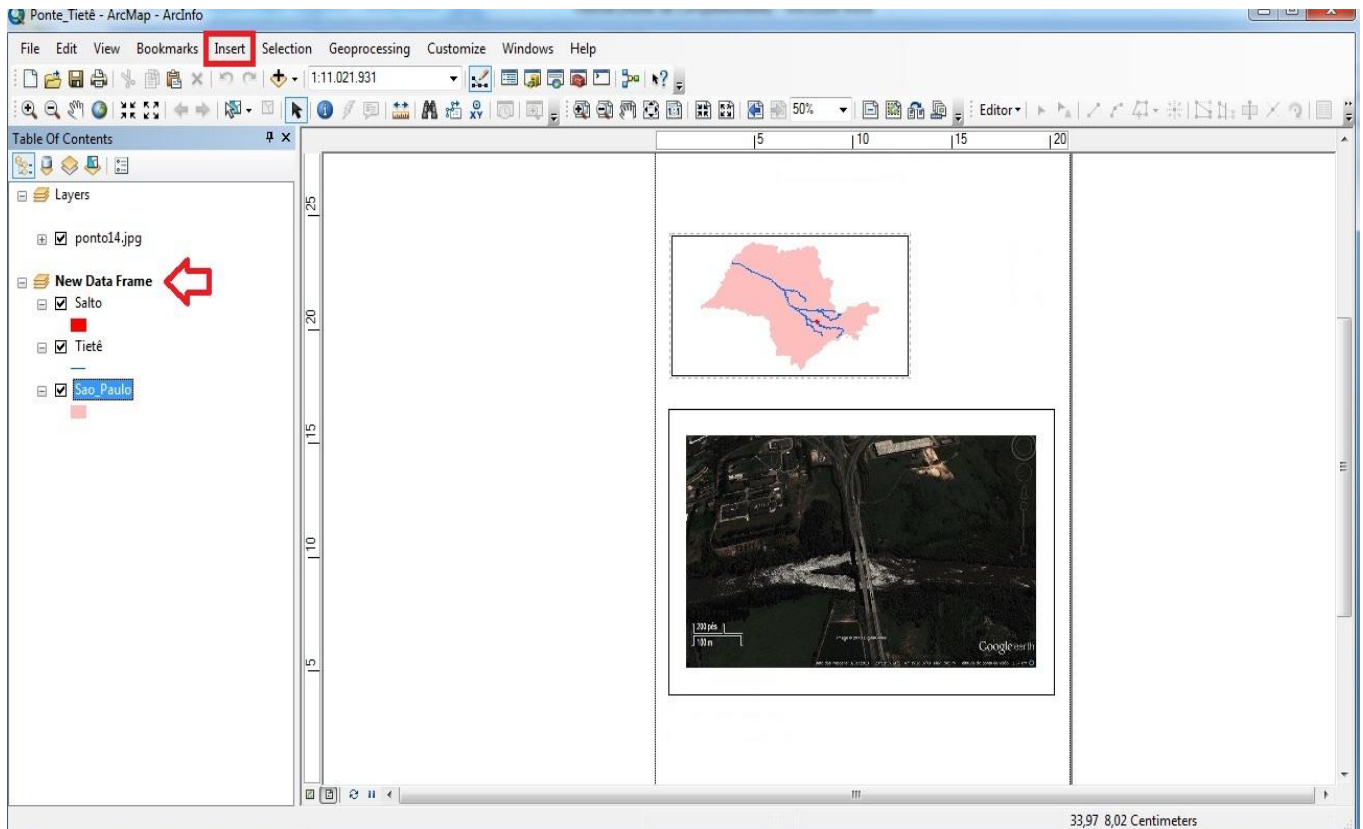


Figura 10: Print da tela com indicação de como inserir um New Data Frame.
Elaborado por: MORAES, A. G, 2014.

O próximo passo foi criar o hiperlink que associou a imagem à tabela com os índices de sensibilidade ambiental ao derrame de óleo.

Para essa etapa, foi necessário abrir o ArcCatalog®  e criar um novo shapefile (Figura 11). Na aba Catalog Tree escolheu-se a pasta onde o arquivo foi salvo > C:\projeto_prh_1\Shapes_prh_tietê. Após escolher a pasta, clica-se com o botão direito do mouse e escolhe-se a opção New > Shapefile.

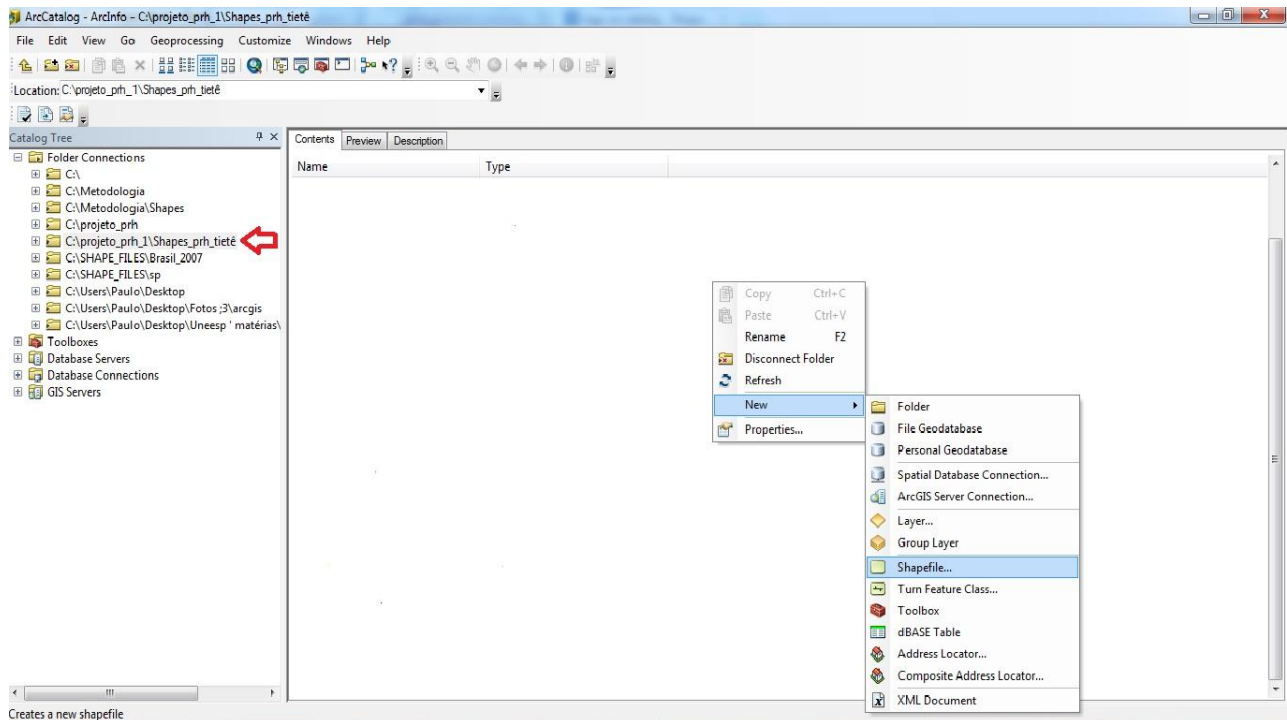


Figura 11: Print da tela inicial do ArcCatalog®.
Elaborado por: MORAES, A. G, 2014.

O nome do shapefile foi atribuído de acordo com a feição de relevo e/ou feição antrópica analisada, como por exemplo 'Ponte.shp' (Figura 12). Clicando duas vezes em cima do shape, abre-se a janela de propriedades e na aba 'Fields' tem-se 3 campos já preenchidos (FID > Object ID; Shape > Geometry; Id > Long Integer), no quarto campo, foi adicionada a palavra 'Hiperlink' e no 'Data Type' escolhida a opção 'Text'

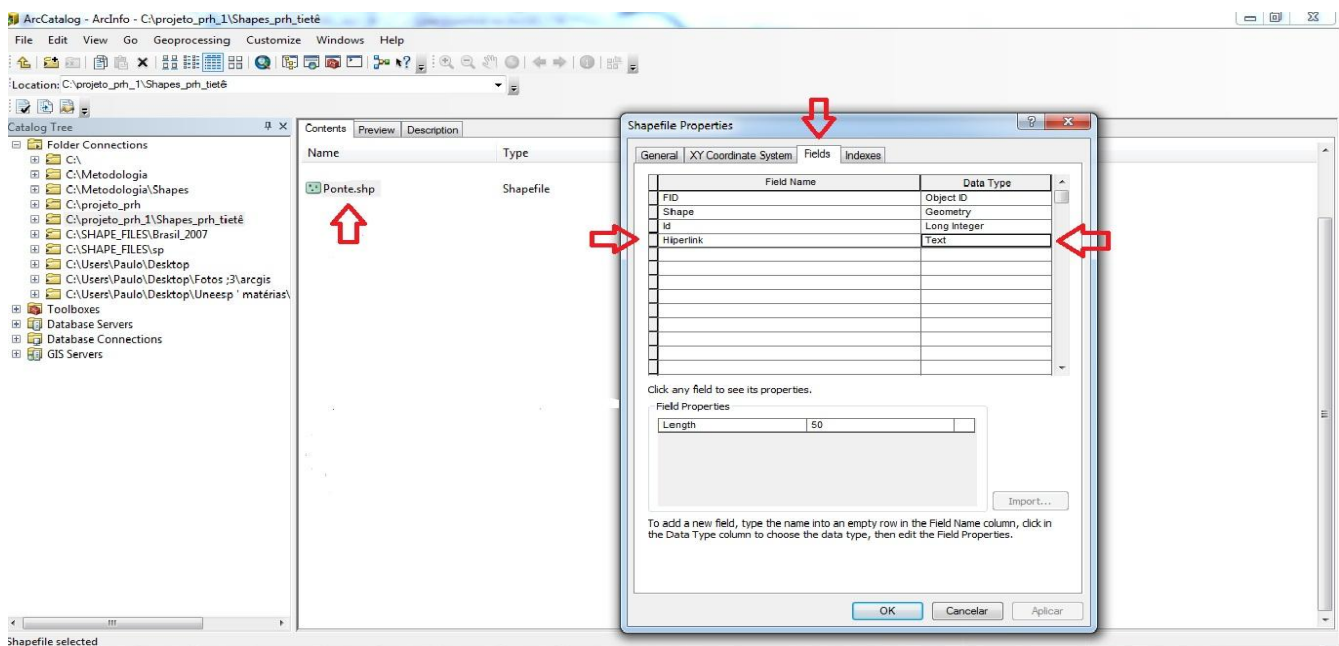


Figura 12: Print da tela do ArcCatalog® com indicação de como editar o shapefile criado.
Elaborado por: MORAES, A. G, 2014.

Voltando ao ArcMap®, adiciona-se o ponto sobre a imagem que servirá como o caminho entre a imagem e a tabela explicativa. Para isso, seleciona-se o layer que contém a imagem ‘ponte.jpg’, por exemplo, e utiliza-se o comando ‘Add Data’ > C:/projeto_prh_1 > Shapes_prh_tietê > Ponte. shp.

Após essa escolha, na Table of Contents será registrado o shapefile ‘Ponte’ que foi editado a partir de então. Primeiro selecionou-se o símbolo que representa a feição (por convenção, o ArcGis® nos dá um ponto normal; para a pesquisa optou-se pelo símbolo de uma Estrela). Para poder editar a simbologia, é necessário clicar duas vezes sobre o ponto que aparece logo abaixo do shape ‘Ponte’ que abrirá uma janela com opções de símbolos e cores. A cor escolhida foi o roxo escuro, já que essa cor representa a feição ‘menos sensível a derrame de óleo’; na opção ‘size’ aumentamos para 40, assim a ‘estrela’ ficou visível na imagem (Figura 13).

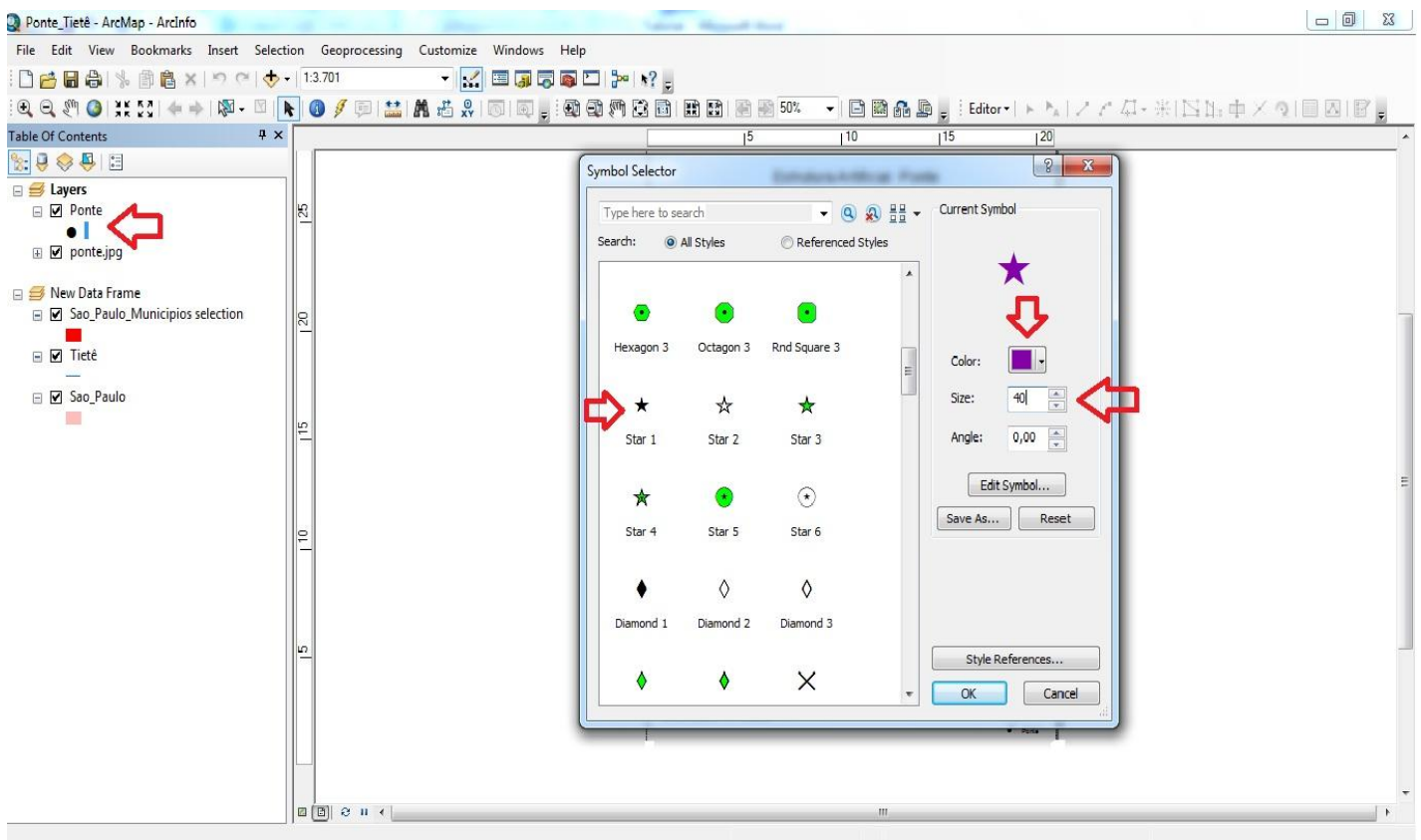


Figura 13: Print da tela de edição do símbolo selecionado.
Elaborado por: MORAES, A. G, 2014.

Após a mudança na simbologia, foi possível adicionar o ponto na imagem. Para isso, foi selecionada a aba ‘Editor’> Start Editing> Ponte (Figura 14) e clicou-se sobre a imagem onde se desejava localizar o símbolo que representa o shape ‘Ponte’.

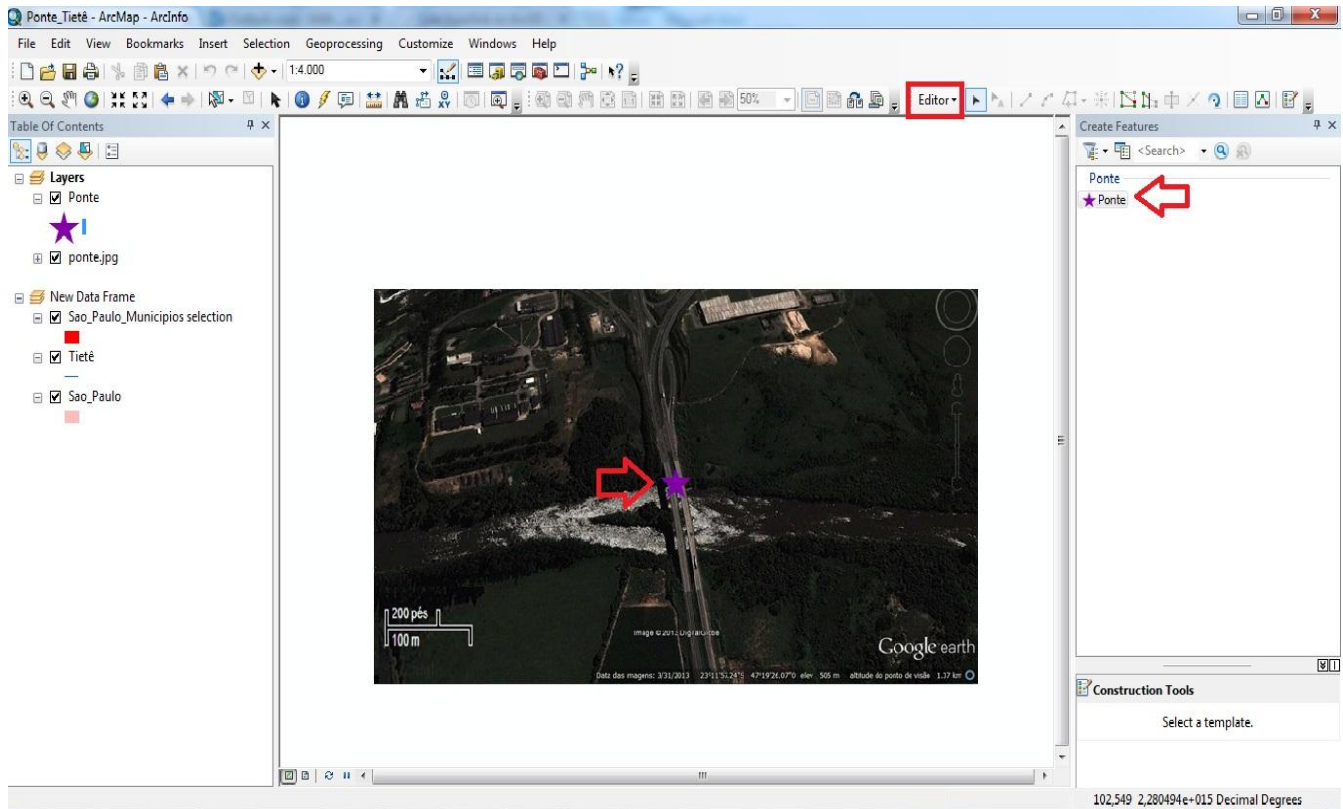


Figura 14: Print da tela de edição do ArcMap®.
Elaborado por: MORAES, A. G, 2014.

Feito isso, clicou-se novamente na aba 'Editor' > Save Edits > Stop Editing. Ainda, foi necessário ativar o Hiperlink e para isso, voltou-se na Table of Contents e no shapefile 'Ponte', clicando com o botão direito do mouse e selecionando a opção Properties. Nessa janela, na aba 'Display' > ativou-se a opção 'Support Hiperlinks using Field' > e clicou-se na opção 'Document' (Figura 15). Feito isso, o hiperlink foi ativado e o ícone em forma de 'Raio', que o representa, ficou ativo em tela.

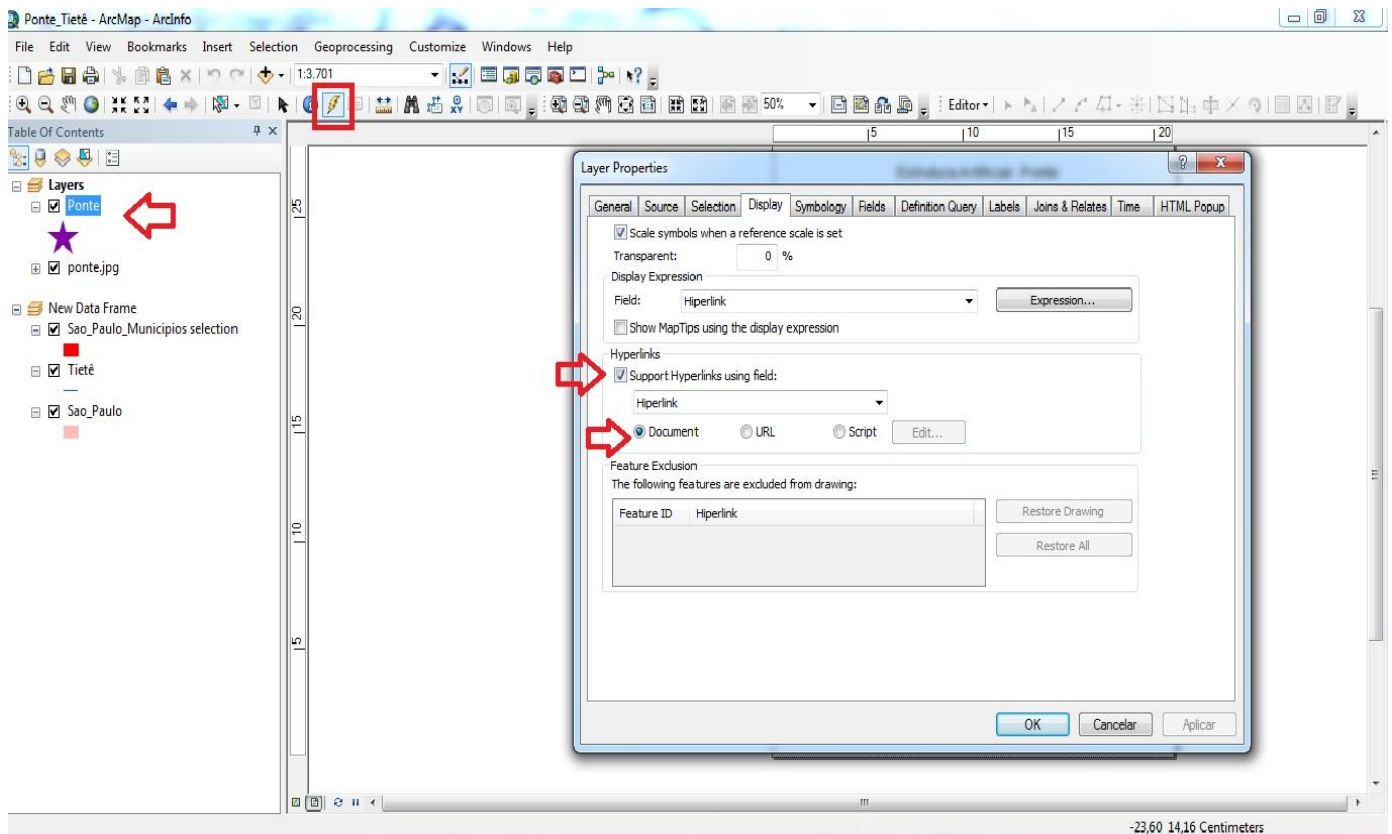


Figura 15: Print da tela de ativação do hiperlink no ArcMap®.

Elaborado por: MORAES, A. G, 2014.

Para finalizar, foi necessário adicionar a extensão do documento para que o ArcGis® consiga encontrar o pdf que contém a tabela com o índice explicativo de sensibilidade. Assim, foi preciso clicar novamente com o botão direito do mouse no shape 'Ponte' e escolher a opção 'Open Attribute Table'. Nessa janela têm se as colunas FID > 0; Shape > Point; Id > 0; e o Hiperlink (nesse espaço será necessário escrever a extensão do documento), no caso > C:\projeto_prh_1\TableasPRH\Ponte.pdf (Figura 16).

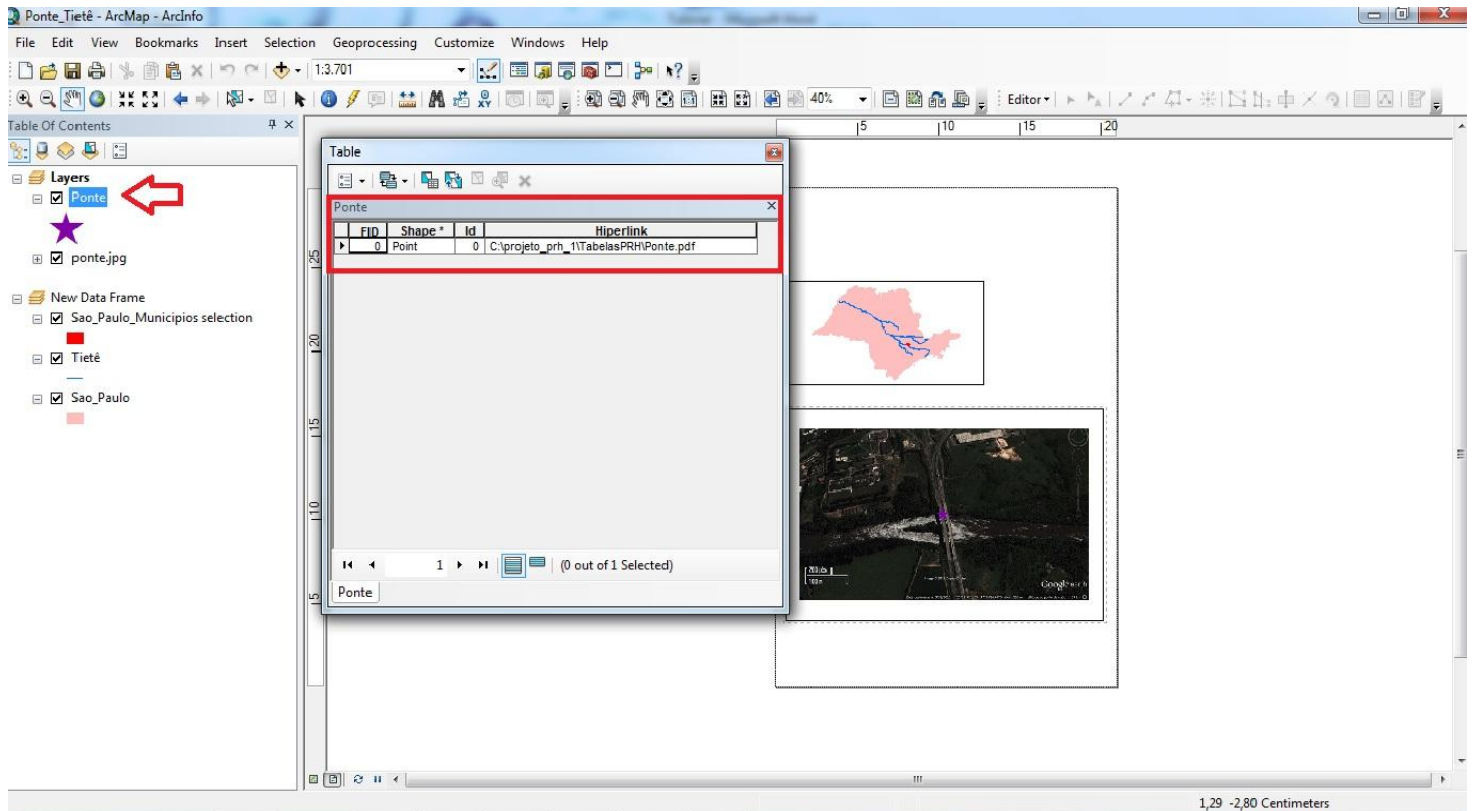


Figura 16: Print da tela com indicação da extensão do documento.

Elaborado por: MORAES, A. G, 2015.

Após a realização dessas etapas, basta clicar no ícone em forma de 'raio' e levá-lo até o meio do símbolo de Estrela para abrir a tabela em pdf (Figura 17).

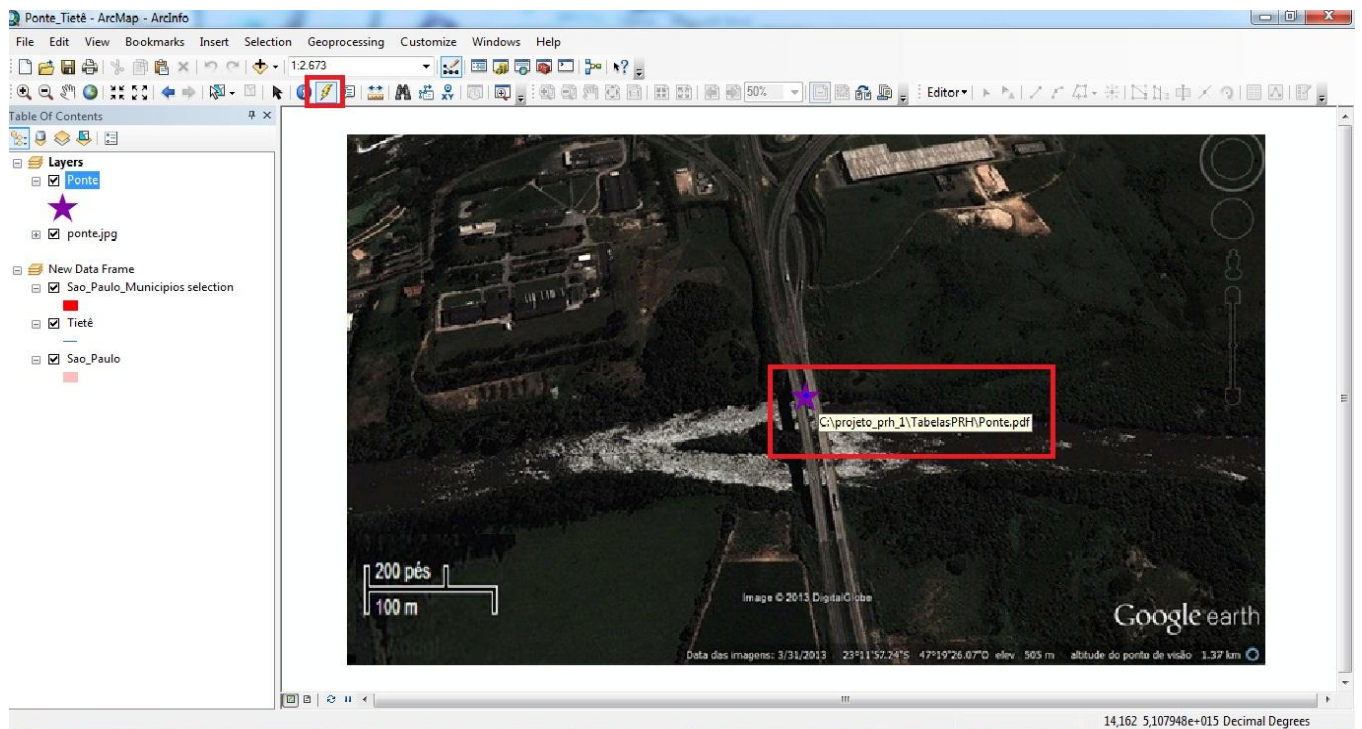


Figura 17: Tela com indicação de como acessar o hiperlink.

Elaborado por: MORAES, A. G.

Agora que o Hiperlink está pronto, a finalização deve ser feita no Layout do mapa (Figura 18), adicionando as convenções cartográficas (Título, Legenda, Escala e Norte).

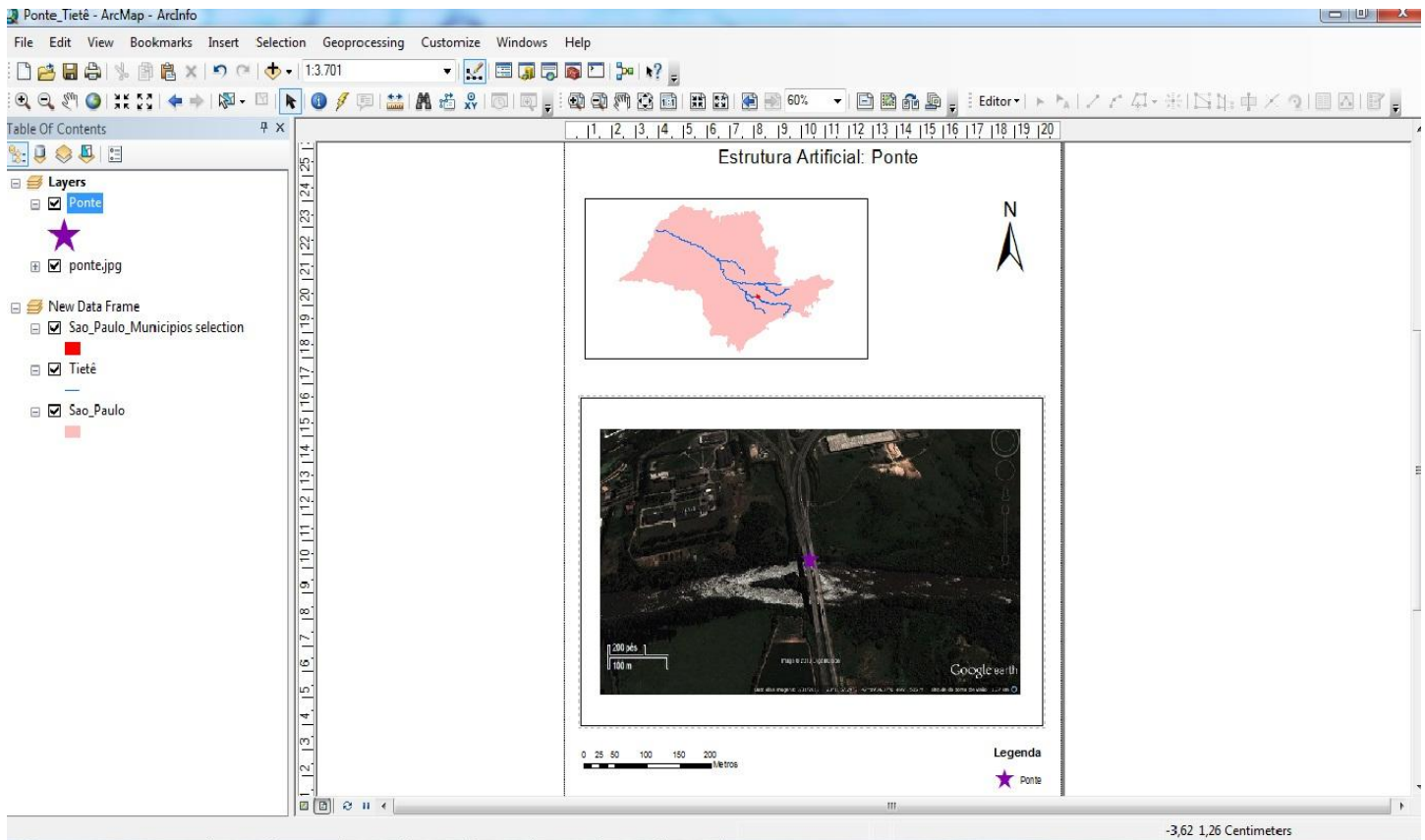


Figura 18: Print da tela com o mapa final.
Elaborado por: MORAES, A. G, 2014.

4.3.2. Acesso ao Banco de Dados

Para acesso correto ao banco de dados, é necessário que **toda a pasta (projeto_prh_1)** esteja no disco rígido C:/ (C:/projeto_prh_1).

Dentro desta pasta, há várias pastas que contém propriedades integrantes do projeto, e, para acesso ao banco de dados é preciso escolher a pasta 'Mapas_Finais'. Após isso, vários arquivos serão exibidos, com os nomes sempre associados às feições marginais ou ações antrópicas (Ponte_Tietê, por exemplo).

Depois da escolha do arquivo, o ArcMap® será aberto e o mapa com a imagem da feição será exibido na tela (Figura 19).

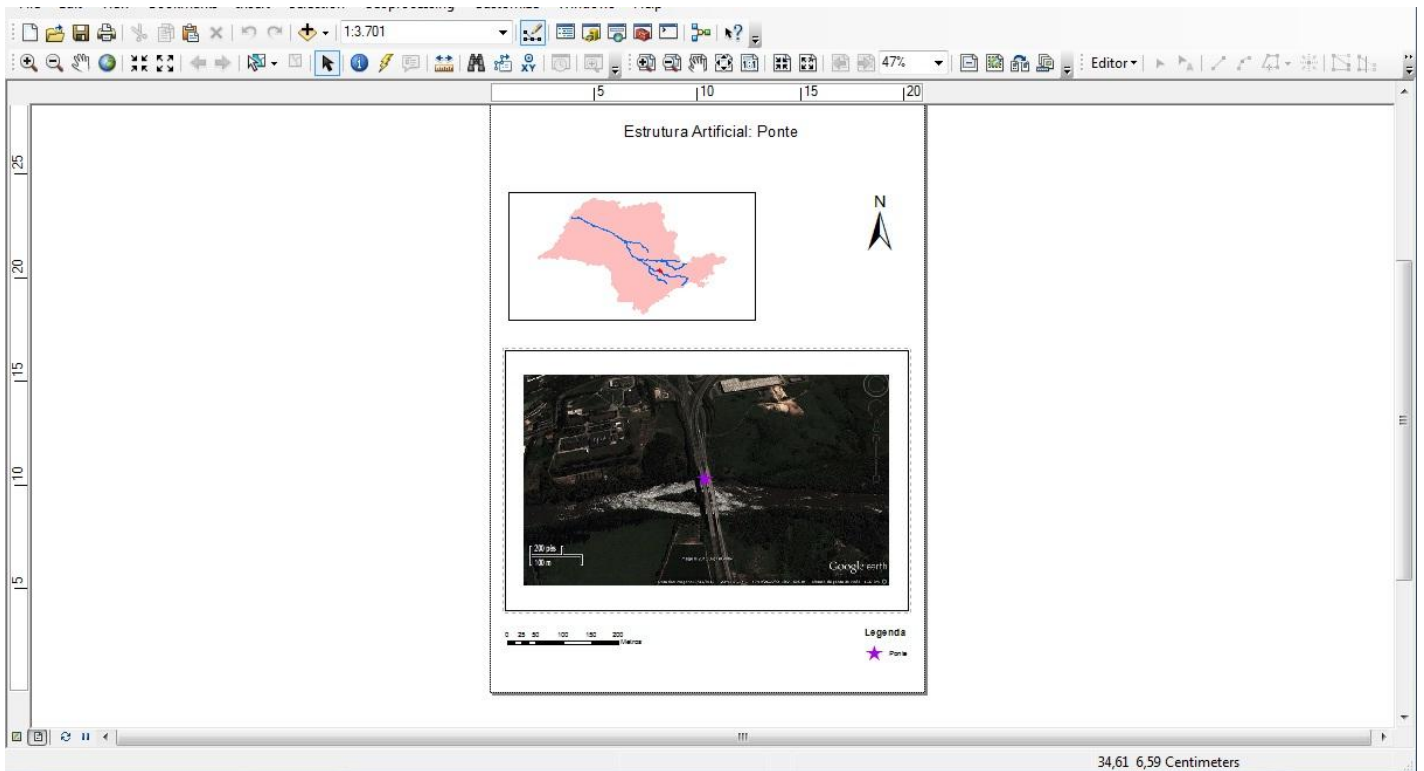


Figura 19: Print da Tela de como o mapa abrirá quando acessado.
Elaborado por: MORAES, A. G, 2014.

Para acesso dos quadros explicativos das feições, basta clicar no ‘raio’ (que já está destacado na cor amarela na barra de ferramentas - Figura 20) Feito isso, novamente o ponto azul do hyperlink será ativado no meio do símbolo da ‘estrela’ e clicando nesse o quadro explicativo se abrirá (Figura 21).

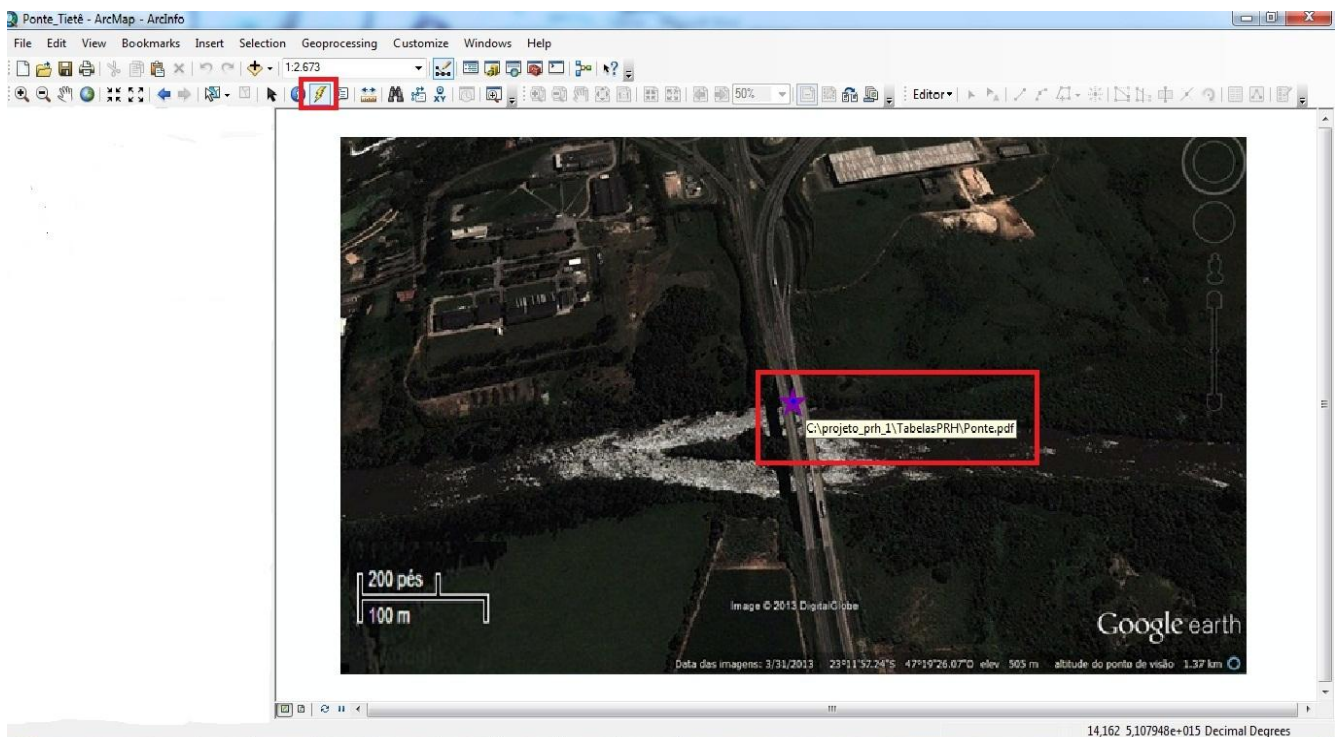


Figura 20: Print da tela de como acessar os quadros explicativos.
Elaborado por: MORAES, A. G.

Feições Antrópicas: Pontes		
Autor:	Categoria:	Índice:
Índice de Sensibilidade do Litoral (MMA, 2002).	Costa exposta com estruturas sólidas artificiais	1
Índice de Sensibilidade Ambiental para Ambientes Lacustres, NOAA (1997)	Costa exposta com estruturas sólidas artificiais	1B
Environmental Sensitivity Index (ESI) estabelecido pela Environmental Canada e US-EPA.	Muros de contenção, expostos.	1B
	Estruturas sólidas, abrigadas.	8B
Índice de Sensibilidade Ambiental - Classificação ambiental para Cartas SAO – Modificado de NOAA (1997) – Ambiente Fluvial	Estrutura antrópica sólida exposta.	1B
Índice de Sensibilidade Ambiental do NOAA para as margens dos Grande Lagos - Michel; Hayes; Dahlin, (1994)	Paredões artificiais expostos de concreto, madeira ou metal.	1B
Araújo; Silva; Muehe (2006)	Estruturas Artificiais.	1
PROPOSTA DE ÍNDICE: 2		
Justificativa: As estruturas artificiais, como as pontes, não apresentam dificuldades na limpeza do óleo, visto que, por se tratar de área com concreto, são pouco permeáveis e não acumulam óleo de forma significativa. No entanto, deve-se atentar ao fato de que os pilares das pontes constituem obstáculos no interior do canal fluvial e com isso pode ocorrer a sedimentação nas bases da construção (bancos de deposição com ou sem ocorrência de vegetação). Assim sendo, pode-se ter o índice aumentado nessas condições, já que seria um empecilho à remoção do fluido.		

☐ Proposta dos Autores/Instituições

☐ Proposta e Justificativa da Pesquisa

Figura 21: Quadro explicativo, associando as feições geomorfológicas e/ou antrópicas com índices de sensibilidade ambiental.
Elaborado por: MORAES, A.G, 2014.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados, bem como análises e considerações que visam atender objetivos traçados para a pesquisa. O banco de dados (completo) encontra-se gravado em CD (apêndice A).

O banco de dados elaborado conta com 28 imagens dos rios Tietê, Grande e Paranapanema e 22 tabelas explicativas contendo as feições geomorfológicas e/ou antrópicas consideradas mais relevantes para a pesquisa. As feições foram classificadas baseando-se nas características marginais, nos processos fluviais, no tempo de permanência do óleo no ambiente e na dificuldade de limpeza do fluído. É importante ressaltar que algumas imagens possuem mais de uma feição a ser analisada. Nas imagens apresentadas a seguir, as feições fluviais, marginais e antrópicas serão apontadas por uma seta (a cor usada na legenda baseou-se nas orientações de Araújo (2006), Hayes, Michel e Montello (1997) e Hayes, Michel e Dahlin (1995) – Quadro 11).

O índice proposto possui uma escala de 1 a 10, sendo 1 o menos sensível e 10 o mais sensível, conforme o padrão proposto na bibliografia e as considerações de publicações como as de Araújo et. al (2006), Ministério do Meio Ambiente (2002); NOAA (1997); Michel; Hayes; Dahlin. (1994 e 1995); Oliveira et. al (2003) e Hayes; Michel; Montello (1997). Entre as feições encontradas têm-se as estruturas artificiais, que se dividem em barragens, áreas canalizadas e pontes; ainda, têm-se áreas de falhamentos e cachoeiras; margens rochosas; margens erosivas; soleiras fluviais; bancos de deposição; enrocamentos; ilhas fluviais; áreas de confluência; lagos de várzea, lagos de barragem, lagos de piscicultura e rizicultura; áreas de várzeas com cultivos; bancos de macrófitas; leques aluviais; barras de meandros e meandros abandonados. Para elucidar os resultados que constam no banco de dados (apresentado em sua íntegra em CD anexo a esse trabalho) foram selecionadas 9 imagens, cada uma representando um nível hierárquico do índice em ordem crescente.

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Quadro 11: Legenda utilizada para a representação das áreas sensíveis. Adaptada dos estudos de Araújo (2006), Hayes, Michel e Montello (1997) e Hayes, Michel e Dahlin (1995).
Elaboração: RIEDEL, CUNHA (2012).

Índice 1: Estruturas Antrópicas – Barragem

As estruturas artificiais (figura 22 e quadro 12) são normalmente construídas com base cimentada de concreto e/ou aço e por isso não há grandes possibilidades de percolação do óleo; assim sendo, não é um ambiente que seria gravemente afetado caso acontecesse um acidente envolvendo petróleo e derivados. Entretanto, se essas estruturas estiverem fraturadas ou fissuradas, o índice deve ser superior, já que a permeabilidade passaria a existir e afetar o ambiente de forma mais grave. Outro adendo deve ser feito ao conjunto de feições que podem ser encontradas num mesmo ambiente, como no caso da barragem onde se tem obrigatoriamente o lago formado pela sua construção e que possui um alto índice de sensibilidade devido à possibilidade de acúmulo de óleo.

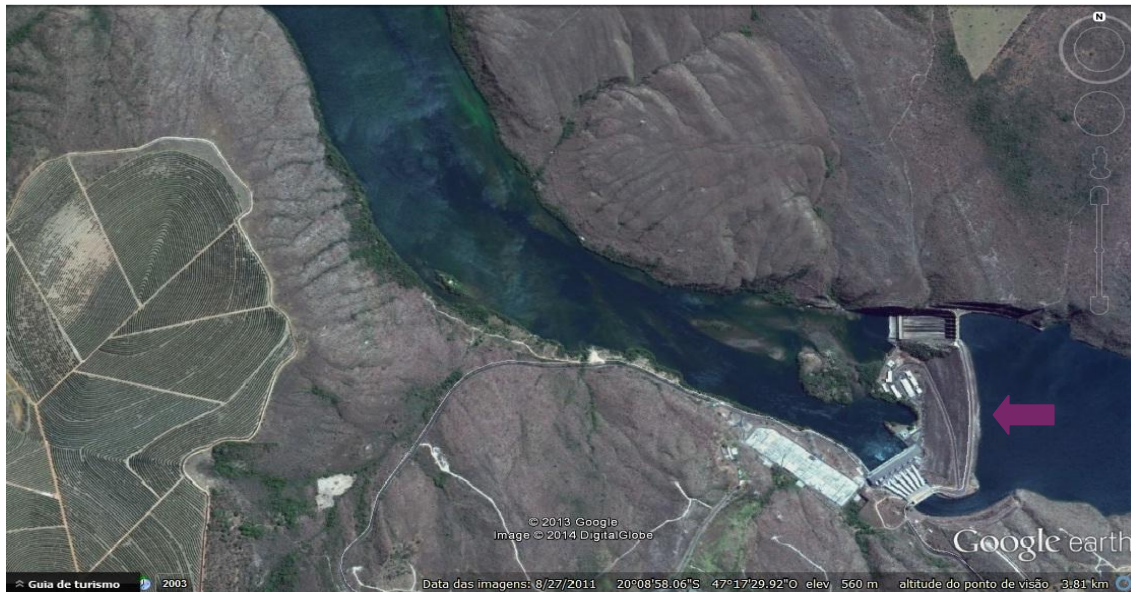


Figura 22: Barragem no rio Grande, na cidade de Vila do Estreito – SP.
Fonte: Google Earth®, 2013.

Feições Antrópicas: Barragem		
Autor:	Categoria:	Índice:
Índice de Sensibilidade do Litoral (MMA, 2002).	Costa exposta com estruturas sólidas artificiais	1
Índice de Sensibilidade Ambiental para Ambientes Lacustres, NOAA (1997)	Costa exposta com estruturas sólidas artificiais	1B
Environmental Sensitivity Index (ESI) estabelecido pela Environmental Canada e US-EPA.	Muros de contenção, expostos.	1B
	Estruturas sólidas, abrigadas.	8B
Índice de Sensibilidade Ambiental - Classificação ambiental para Cartas SAO – Modificado de NOAA (1997) – Ambiente Fluvial	Estrutura antrópica sólida exposta.	1B
Índice de Sensibilidade Ambiental do NOAA para as margens dos Grande Lagos - Michel; Hayes; Dahlin, (1994)	Paredões artificiais expostos de concreto, madeira ou metal.	1B
Araújo; Silva; Muehe (2006)	Estruturas Artificiais.	1
PROPOSTA DE ÍNDICE: 1		
Justificativa: As estruturas artificiais não apresentam dificuldades para a limpeza do óleo, visto que são impermeáveis e não acumulam óleo de forma expressiva. Nessa situação, a preocupação maior deve ser com o lago da barragem, e não com a estrutura em si.		

Quadro 12: Proposta de Índice de Sensibilidade para Barragem.
Elaboração: MORAES, A.G, 2014.

Índice 2: Estruturas Artificiais: Pontes

As estruturas artificiais referentes às pontes (figura 23 e quadro 13), não apresentam dificuldades na limpeza do óleo, visto que, por se tratar de área com concreto, são pouco permeáveis e não acumulam óleo de forma significativa. No entanto, deve-se atentar ao fato de que os pilares das pontes constituem obstáculos no interior do canal fluvial e com isso pode ocorrer à sedimentação nas bases da construção (bancos de deposição com ou sem ocorrência de vegetação). Assim sendo, deve-se reavaliar o índice nessas condições, já que seria um empecilho à remoção do fluído.



Figura 23: Ponte no rio Tietê, próximo à cidade de Itu – SP.

Fonte: Google Earth®, 2013.

Feições Antrópicas: Pontes		
Autor:	Categoria:	Índice:
Índice de Sensibilidade do Litoral (MMA, 2002).	Costa exposta com estruturas sólidas artificiais	1
Índice de Sensibilidade Ambiental para Ambientes Lacustres, NOAA (1997)	Costa exposta com estruturas sólidas artificiais	1B
Environmental Sensitivity Index (ESI) estabelecido pela Environmental Canada e US-EPA.	Muros de contenção, expostos.	1B
	Estruturas sólidas, abrigadas.	8B
Índice de Sensibilidade Ambiental - Classificação ambiental para Cartas SAO – Modificado de NOAA (1997) – Ambiente Fluvial	Estrutura antrópica sólida exposta.	1B
Índice de Sensibilidade Ambiental do NOAA para as margens dos Grande Lagos - Michel; Hayes; Dahlin, (1994)	Paredões artificiais expostos de concreto, madeira ou metal.	1B
Araújo; Silva; Muehe (2006)	Estruturas Artificiais.	1
PROPOSTA DE ÍNDICE: 2		
Justificativa: As estruturas artificiais, como as pontes, não apresentam dificuldades na limpeza do óleo, visto que, por se tratar de área com concreto, são pouco permeáveis e não acumulam óleo de forma significativa. No entanto, deve-se atentar ao fato de que os pilares das pontes constituem obstáculos no interior do canal fluvial e com isso pode ocorrer a sedimentação nas bases da construção (bancos de deposição com ou sem ocorrência de vegetação). Assim sendo, pode-se ter o índice aumentado nessas condições, já que seria um empecilho à remoção do fluido.		

Quadro 13: Proposta de Índice de Sensibilidade para Pontes.
Elaboração: MORAES, A. G, 2014.

Índice 3: Feições Fluviais: Cachoeiras

As cachoeiras (figura 24 e quadro 14) são áreas de escoamento superficial muito rápido e forte, de constante exposição à ação do hidrodinamismo. Em caso de derrames de óleo, o fluido teria rápido deslocamento, não ficando retido neste local. Caso a estrutura rochosa, que dá origem as cachoeiras, apresente falhamentos, pode ocorrer dificuldade para a remoção do óleo, visto que as falhas criam condições para o fluido atingir o lençol freático, contaminando não apenas a superfície.



Figura 24: Cachoeira no rio Tietê, próxima a cidade de Cabreúva-SP.
Fonte: Google Earth®, 2013.

Feições Fluviais: Cachoeira		
Autor:	Categoria:	Índice:
Índice de Sensibilidade Ambiental - Classificação ambiental para Cartas SAO – Modificado de NOAA (1997) – Ambiente Fluvial	Baixio ou afloramento rochoso	2A
Oliveira et. al (2003) – Índice de Sensibilidade Terrestre (IST) – Similar a NOAA (1997) e MMA (2002)	Relevo montanhoso, zonas escarpadas, topografia movimentada e caudais de descarga rápida, encaixados com afloramentos rochosos.	1
Índice de Sensibilidade Ambiental - Michel; Hayes; Dahlin (1995)	Bancos rochosos expostos.	1A
	Bancos de rochas, lajes de leito rochoso.	2
	Obstáculos rochosos/saliências rochosas	3
Hayes; Michel; Montello (1997)	Pequeno canal não navegável com corredeiras sobre leito rochoso.	4
	Canal navegável com corredeiras sobre leito rochoso.	5
Araújo; Silva; Muehe (2006)	Corredeira/Cachoeiras	3
PROPOSTA DE ÍNDICE: 3		
Justificativa: As cachoeiras são áreas de escoamento superficial muito rápido e forte. Em caso de derrames de óleo, o fluido teria rápido deslocamento, não ficando retido neste ambiente. Caso a estrutura rochosa, que dá origem as cachoeiras, apresente falhamentos, ocorre dificuldade para a remoção do óleo, visto que as falhas influenciam o fluxo subterrâneo, ou seja, se ocorrer um derramamento de óleo nas áreas com falhas, o fluido poderá chegar ao lençol freático, contaminando não apenas a superfície do corpo d'água. Assim, o índice proposto deve ser revisado em áreas em que a soleira rochosa apresenta falhamentos.		

Quadro 14: Proposta de Índice de Sensibilidade para Cachoeiras.
Elaboração: MORAES, A.G, 2014.

Índice 4: Feições Marginais: Margens Rochosas

As margens rochosas (figura 25 e quadro 15) estão em frequente exposição à ação do hidrodinamismo fluvial, o que garante a sua limpeza natural mais eficiente, favorecendo a recuperação do ambiente, sem a interferência de outros métodos de limpeza mais agressivos. As margens de rochas maciças são impermeáveis, portanto, incapazes de acumular óleo de forma significativa; entretanto, quando a margem é muito fraturada ou fissurada, pode ocorrer à penetração de óleo nesses locais e ainda existe a possibilidade da formação de depósitos que propiciam a percolação do óleo, causando contaminação do ambiente e agravando o impacto. Assim, a avaliação desse tipo de margem exige dados obtidos em campo para garantir a eficiência de sua classificação.



Figura 25: Margem rochosa no rio Tietê em Salto – SP.

Fonte: Google Earth®, 2014.

Feições Marginais: Margem Rochosa		
Autor:	Categoria:	Índice:
Escala ISA do NOAA para os habitats das margens dos Grande Lagos	Paredões rochosos expostos	1A
	Paredões artificiais expostos de concreto, madeira ou metal	1B
	Encostas rochosas	2
Índice de Sensibilidade Ambiental das margens para os Grandes Lagos canadenses - Michel; Hayes; Dahlin. (1994).	Escarpa exposta com menos de 1m de elevação	1A
	Escarpa exposta de 1 a 5 m de elevação	1B
	Escarpa exposta com mais de 5 m de elevação	1C
	Muro de contenção/estruturas portuárias/quebra-mar	2
	Encostas rochosas	3
Índice de Sensibilidade Ambiental - Michel; Hayes; Dahlin (1995)	Bancos rochosos expostos	1A
	Revestimentos sólidos verticais	1B
	Bancos de rochas, lajes de leito rochoso	2
Araújo; Silva; Muehe (2006)	Laje ou afloramento rochoso	2
PROPOSTA DE ÍNDICE: 4		
Justificativa: As margens rochosas estão em frequente exposição à ação do hidrodinamismo fluvial, o que garante a sua limpeza natural mais eficiente favorecendo a recuperação do ambiente, sem a interferência de outros métodos de limpeza mais agressivos. As margens de rochas maciças são impermeáveis, portanto, incapazes de acumular óleo de forma significativa, entretanto, quando a margem é muito fraturada ou fissurada, pode ocorrer a penetração de óleo nesses locais e ainda existe a possibilidade da formação de depósitos que propiciam a percolação do óleo, causando contaminação do ambiente e agravando o impacto naquele local. Assim, a avaliação desse tipo de margem exige dados obtidos em campo para garantir a eficiência de sua classificação.		

Quadro 15: Proposta de Índice de Sensibilidade para Margens Rochosas.

Elaboração: MORAES, A.G, 2014.

Índice 5: Feições Marginais: Bancos de areia

Os bancos arenosos (figura 26 e quadro 16) encontrados nas imagens são saturados de água e o óleo sobre esse ambiente teria dificuldade de infiltração. Contudo, dependendo do tipo de limpeza usado, o fluido poderia ser transferido para camadas mais profundas e ter sedimentos novos recobrimo os contaminados com o óleo. Essa possibilidade justifica o índice de valor intermediário atribuído a esse tipo de feição.



Figura 26: Bancos de areia no rio Paranapanema, próximo da cidade de Irapé – SP.
Fonte: Google Earth®, 2013.

Feições Marginais: Bancos de deposição		
Autor:	Categoria:	Índice:
Índice de Sensibilidade do Litoral (MMA, 2002)	Praias dissipativas, de areia fina a média, expostas/abrigadas.	3
	Praias de areia grossa; Praias intermediárias, de areia média a fina, expostas.	4
	Praias de cascalho (seixos e calhus)	6
Índice de Sensibilidade Ambiental - Classificação ambiental para Cartas SAO – Modificado de NOAA (1997) – Ambiente Fluvial	Barra de areia e margem suave	4
	Praia com areia e cascalho misturado com margem suave	5
	Barra de cascalho e margem suave	6A
Índice de Sensibilidade Ambiental - Michel; Hayes; Dahlin (1995)	Barras de areia e bancos de baixa declividade	4
	Praias mistas de areia e cascalho de baixa declividade	5
	Praia de cascalho de baixa declividade	6A
Araújo; Silva; Muehe (2006)	Praia ou banco de areia/ seixo exposta	5
	Praia ou banco de areia/ seixo abrigada	6
	Praia ou banco de lama exposto	7
	Praia ou banco de lama abrigado	8
PROPOSTA DE ÍNDICE: 5		
Justificativa: Os bancos arenosos, como nesse caso, são saturadas de água e, o óleo sobre esse ambiente teria baixa permeabilidade. Contudo, dependendo do tipo de limpeza usado, poderia transferir o fluído para camadas mais profundas e ter sedimentos novos recobrimdo os contaminados com o óleo.		

Quadro 16: Proposta de Índice de Sensibilidade para Bancos de deposição.
Elaboração: MORAES, A.G, 2014.

Índice 6: Feições Marginais: Enrocamentos

Os enrocamentos (figura 27 e quadro 17) são estruturas constituídas por blocos não cimentados (inconsolidados) e que apresentam grande permeabilidade à percolação de óleo e derivados, dificultando a limpeza desses ambientes e promovendo a permanência do fluido.



Figura 27: Margem com enrocamento no rio Tietê, próximo a cidade de Salto – SP.

Fonte: Google Earth®, 2014.

Feições Marginais: Enrocamentos		
Autor:	Categoria:	Índice:
Escala ISA do NOAA para os habitats das margens dos Grande Lagos	Enrocamentos (Rip-rap)	6B
Índice de Sensibilidade Ambiental das margens para os Grandes Lagos canadenses - Michel; Hayes; Dahlin. (1994).	Enrocamentos (Rip-rap)	8
Índice de Sensibilidade do Litoral (MMA, 2002)	Depósitos de tálus, enrocamentos (rip-rap, quebra mar) expostos, plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas.	6
	Escarpa/encosta de rocha lisa, não lisa e íngremes de areias, enrocamentos (rip-rap e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados.	8
Índice de Sensibilidade Ambiental - Michel; Hayes; Dahlin (1995)	Enrocamentos	6B
PROPOSTA DE ÍNDICE: 6		
Justificativa:		
Os enrocamentos são estruturas constituídas por blocos não cimentados e que apresentam grande permeabilidade à percolação de óleo e derivados, dificultando a limpeza desses ambientes e promovendo a permanência do fluido.		

Quadro 17: Proposta de Índice de Sensibilidade para Enrocamentos.

Elaboração: MORAES, A. G, 2014.

Índice 7: Feições Marginais: Ilhas Fluviais

As ilhas fluviais (figura 28 e quadro 18) surgem a partir da sedimentação excessiva no canal fluvial em locais onde a água é mais lenta e a declividade menor. Com o passar do tempo, tais ambientes comumente são colonizados por vegetação e, no caso de derrames de óleo e derivados, as ilhas seriam um empecilho à sua remoção, visto que o fluído poderia ficar retido nos sedimentos e na vegetação.



Figura 28: Ilha fluvial no rio Grande, próximo da cidade de Miguelópolis – SP.

Fonte: Google Earth®, 2014.

Feições Marginais: Ilhas Fluviais		
Autor:	Categoria:	Índice:
Índice de Sensibilidade Ambiental para Ambientes Lacustres, NOAA (1997).	Praias arenosas.	4
Índice de Sensibilidade do Litoral (MMA, 2002)	Praias dissipativas, de areia fina a média, expostas/abrigadas.	3
	Praias de areia grossa; Praias intermediárias, de areia média a fina, expostas.	4
Environmental Sensitivity Index (ESI) estabelecido pela Environmental Canada e US-EPA.	Praias/barras de areia	4
	Praias/barras/margens vegetadas	9A
Índice de Sensibilidade Ambiental - Michel; Hayes; Dahlin (1995)	Barras de areia e bancos de baixa declividade	4
Índice de Sensibilidade Ambiental das margens para os Grandes Lagos canadenses - Michel; Hayes; Dahlin. (1994).	Praia de areia: deposicional	5A
	Barreiras de areia com lagoa	6
	Praia de grânulo	7A
	Praia Mista	10
	Praia ou banco de lama exposto	7
	Praia ou banco de lama abrigado	8
Índice de Sensibilidade Fluvial ao Óleo, Costa (2013)	Ilhas fluviais	7
PROPOSTA DE ÍNDICE: 7		
Justificativa: As ilhas fluviais surgem a partir da sedimentação excessiva no canal fluvial em locais onde a água é mais lenta e a declividade menor. Com o passar do tempo, pode surgir vegetação nesse ambiente e, no caso de derrames de óleo e derivados, as ilhas seriam um empecilho à sua remoção, visto que o fluido poderia ficar ali retido.		

Quadro 18: Proposta de Índice de Sensibilidade para Ilhas Fluviais.
Elaboração: MORAES, A. G, 2014

Índice 8

Não foram registradas feições geomorfológicas fluviais e/ou antrópicas com esse índice de sensibilidade.

Índice 9: Feições Marginais: Área de Confluência

As áreas de confluências (figura 29 e quadro 19) são locais onde ocorre a junção de canais fluviais e que tendem a gerar feições marginais com característica de águas mais lânticas, como as planícies fluviais e lagos. No caso de derrames de óleo, o fluido passaria de um canal para outro, aumentando assim a área contaminada e a dificuldade da remoção do óleo.

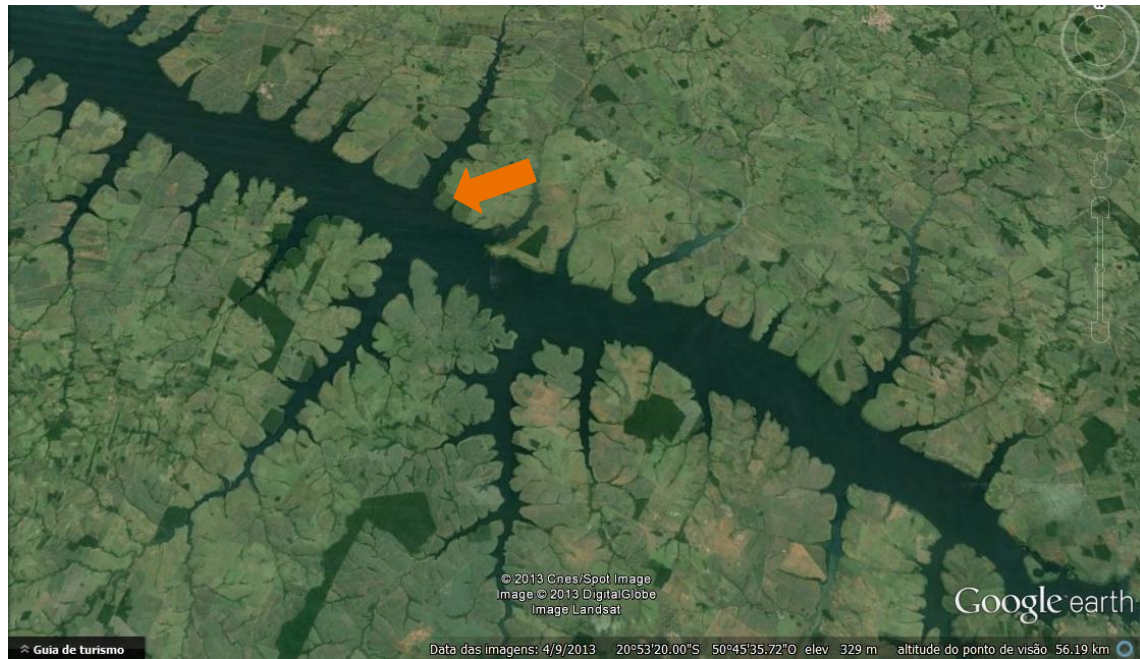


Figura 29: Área de Confluência no rio Tietê, próximo a cidade de Santo Antônio do Aracanguá – SP.
Fonte: Google Earth®, 2013.

Feições Marginais: Área de Confluência		
Autor:	Categoria:	Índice:
Índice de Sensibilidade do Litoral (MMA, 2004).	Deltas e barras vegetadas de rios. Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas.	10
Oliveira et. al (2003) – Índice de Sensibilidade Terrestre (IST) – Similar a NOAA (1997) e MMA (2002)	Relevo plano, várzeas, zonas de confluência e estuarinas. Grandes caudais com lenta descarga ou drenagem estagnada formando áreas inundadas.	5 (índice máximo)
Hayes; Michel; Montello (1997)	Pequeno canal meandrante não navegável com abundantes pontos de fuga associados a pântanos e a meandros abandonados.	9A
	Canais meandrantos navegáveis com abundantes pontos de fugas associados a pântanos e a lagos de meandros abandonados.	9B
Araújo; Silva; Muehe (2006)	Zona de confluência de rios e lagos.	9
PROPOSTA DE ÍNDICE: 9		
Justificativa: As áreas de confluências são locais onde ocorre a junção de canais fluviais e que tendem a gerar feições marginais com característica de águas mais lânticas, como as planícies fluviais e lagos. No caso de derrames de óleo, o fluido passaria de um canal para outro, aumentando assim a área contaminada e a dificuldade da remoção do óleo.		

Quadro 19: Proposta de Índice de Sensibilidade para Áreas de Confluência.
Elaboração: MORAES, A. G, 2015.

Índice 10: Feições Marginais: Meandros Abandonados com Depósitos Aluviais.

Os meandros abandonados (figura 30 e quadro 20) constituem-se em feição natural, que ocorre devido à erosão sobre os bancos de sedimentos em função da ação hidráulica de abrasão/corrosão. São tipicamente encontrados em relevos aplainados. Quando isso ocorre, há a diminuição repentina do afluxo de sedimentos de carga de fundo e o canal é vagarosamente preenchido por material em suspensão, formando os depósitos aluvionares. Nesse sistema de meandros abandonados, ainda se tem a formação de lagos com águas lânticas e, no caso de ocorrer algum derrame de óleo, haveria a retenção do fluído nesse ambiente e uma maior dificuldade na sua remoção. Os depósitos aluviais muitas vezes são formados por sedimentos clásticos e propícios à percolação do fluído mais profundamente, causando contaminação do ambiente por um longo período. Como esses depósitos estão constantemente recebendo sedimentos, ainda há o agravante que, em caso de um derramamento de óleo, pode ocorrer o soterramento do fluído, dificultando as ações de limpeza.



Figura 30: Meandros Abandonados com depósitos aluviais no rio Grande.

Fonte: Google Earth®, 2014.

Feições Marginais: Depósitos Aluviais com Meandro Abandonado		
Autor:	Categoria:	Índice:
Índice de Sensibilidade do Litoral (MMA, 2004).	Deltas e barras vegetadas de rios. Terraços alagadiços, banhados, brejos, margens de rios e lagoas.	10
Environmental Sensitivity Index (ESI) estabelecido pela Environmental Canada e US-EPA.	Áreas alagadas. Pântanos descontínuos ou Pântanos Extensos.	10A/ 10B
Índice de Sensibilidade Ambiental - Classificação ambiental para Cartas SAO – Modificado de NOAA (1997) – Ambiente Fluvial	Brejo de água doce	10B
Índice de Sensibilidade Ambiental das margens para os Grandes Lagos canadenses - Michel; Hayes; Dahlin. (1994).	Franjas de áreas alagáveis ou extensas áreas alagáveis.	13A/13B
Índice de Sensibilidade Ambiental - Michel; Hayes; Dahlin (1995)	Pântanos de água doce (vegetação herbácea).	10C
	Pântanos de água doce (vegetação de mata).	10D
Hayes; Michel; Montello (1997)	Pequeno canal meandrante não navegável com abundantes pontos de fuga associados a pântanos e a meandros abandonados.	9A
	Canais meandantes navegáveis com abundantes pontos de fugas associados a pântanos e a lagos de meandros abandonados.	9B
Araújo; Silva; Muehe (2006)	Vegetação alagada (igapós, várzea, chavascal, campo etc).	10B
PROPOSTA DE ÍNDICE: 10		
Justificativa: Nesse sistema de meandros abandonados, se tem a formação de lagos com águas lânticas e, no caso de ocorrer algum derrame de óleo, haveria a retenção do fluido nesse ambiente e uma maior dificuldade na sua remoção. Os depósitos aluviais são propícios à percolação do fluido mais profundamente, causando contaminação do ambiente por um longo período. Como esses depósitos estão constantemente recebendo sedimentos, ainda há o agravante que, em caso de um derramamento de óleo, pode ocorrer o soterramento do fluido, dificultando as ações de limpeza.		

Quadro 20: Proposta de Índice de Sensibilidade para Meandros Abandonados com Depósitos Aluviais. Elaboração: MORAES, A. G, 2014.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo foi proposta a criação de um banco de imagens de três rios de porte médio do Estado de São Paulo (rio Tietê, Grande e Paranapanema) e de chaves interpretativas sobre as condições geomorfológicas fluviais a fim de avaliar a sensibilidade ambiental e entender a resposta do meio físico no caso de derrames de petróleo e derivados nesses locais. Esses três rios foram escolhidos como áreas de estudo visto que não há um número significativo de pesquisas sobre a sensibilidade ambiental ao derrame de óleo nesses ambientes e que por se tratarem de rios de grande importância, devem ter estudos que auxiliem na sua proteção e conservação.

Com a pesquisa, pretende-se que o banco de dados auxilie em mapeamentos futuros que tenham como foco de estudo os sistemas e ecossistemas fluviais, já que estes são pouco explorados em pesquisas, o que dificulta ações de planejamento e mitigação de impactos negativos nesses ambientes, além de servir como uma ferramenta que ajude no gerenciamento das consequências de acidentes envolvendo derrames de óleo. Portanto, esse banco de dados, a partir dos parâmetros geomorfológicos e da consulta de bibliografia nacional e internacional, constitui em uma importante ferramenta para auxiliar o desenvolvimento de uma proposta relacionada à avaliação da sensibilidade ambiental ao óleo.

A bibliografia internacional e nacional (ainda que reduzida) a respeito da sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes fluviais foi adequada para a realização desta pesquisa, ainda que tenha sido necessária a adaptação dos índices para o cenário brasileiro estudado.

A utilização do aplicativo livre Google Earth® se mostrou bastante eficaz para a análise geomorfológica, pois permitiu a visualização em uma boa resolução das feições fluviais. O software ArcGIS 10® foi essencial para o estudo, já que possui uma ferramenta capaz de linkar as imagens aos quadros explicativos, o que facilita o acesso rápido a informação. O banco de dados assim, se mostra muito funcional e possibilita que uma grande quantidade de usuários possa acessá-lo com facilidade e rapidez.

Além disso, com a pesquisa, foi possível observar uma diversidade significativa de feições geomorfológicas nos três maiores rios do estado de São Paulo. Essa diversidade se aos diversos cenários geológicos e geomorfológicos atravessados por tais rios. Tal diversidade somada a um número reduzidos de estudos gera dificuldades para a classificação da sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes fluviais. Com esta pesquisa e a elaboração do banco de imagens, foi possível demonstrar essa diversidade e discutir a sensibilidade ambiental ao óleo nos rios paulistas.

Por fim, a realização desse estudo e a criação do banco de imagens e das chaves interpretativas (quadros explicativos) poderá se tornar uma ferramenta para auxiliar o desenvolvimento de uma proposta relacionada à avaliação da sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes fluviais brasileiros. Os resultados desse estudo poderão auxiliar futuros mapeamentos da sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes fluviais, além de fornecer dados sobre as condições locais e servir de base para a identificação de áreas potencialmente problemáticas, para o gerenciamento de acidentes e contribuir para a conservação desses ecossistemas.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADGER, W. N. **Vulnerability**. *Global Environmental Change* 16 (2006) 268–281. Disponível em: http://www.geos.ed.ac.uk/~nabo/meetings/glthec/materials/simpson/GEC_sdarticle2.pdf. Acesso em: 6 ago 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil** / Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. – Brasília : Aneel, 2008.
- ALBERTINI, J. C. **ESTRATÉGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA CADEIA PRODUTIVA DE PETRÓLEO E GÁS NO PARANÁ**. Universidade Federal do Paraná. Mestrado Profissional em Desenvolvimento Econômico. Curitiba, 2011.
- ALCÂNTARA, E.H. & SANTOS, M.C.F.V. **Mapeamento de Áreas de Sensibilidade Ambiental para a Prevenção de Impactos Ambientais de Derrames de Óleo nos Manguezais Próximos à Área do Porto do Itaquí, São Luís, MA**. Relatório de pesquisa, Programa institucional de Bolsas de Iniciação Científica/UFMA/CNPq, 2004.
- ALENCAR, C.A.G. **Mapeamento de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo: Estudo de caso para Icapuí, Ceará, Brasil**. 2003. 95p. + apêndices. Dissertação(Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.
- ALEXANDRINO, C. H. **Campo Termal da província estrutural São Francisco e faixas móveis adjacentes**. Rio de Janeiro – Brasil. 2008.
- ARAUJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. **Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo: ambientes costeiros, estuarinos e fluviais**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2006.
- ARAUJO, S.I.; MUEHE, D. C. E. H.; DA SILVA, G. H. **Manual Básico para elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Sistema Petrobras: Ambientes Costeiros e Estuarinos**. Rio de Janeiro: Petrobrás, 2002, 133p.
- BEAUMORD, A.C.; FERREIRA, M.F. **Mapeamento da sensibilidade ambiental a 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.
- BIRKLAND, T. A.; LAURENCE, R.G. **The social and political meaning of the Exxon Valdez oil spill**. *Spill Science & Technology Bulletin*, Grã-Bretanha: Elsevier Science, v. 7, n. 1-2, p. 17-22, 2002.
- BRASIL. **Lei nº 9.966, de 28 de abril de 2000**. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas e perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. 2000a.
- BRASIL. **Resolução CONAMA 293 de 12 de dezembro de 2001**. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo originados em portos organizados, instalações portuárias ou terminais, dutos, plataformas, bem como suas respectivas instalações de apoio, e orienta a sua elaboração. 2001a.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos. Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho. Brasília, 2004, 22 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Resolução Conama nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Estabelece as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial** - o canal fluvial. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 313 p.

CLARK, J.R. **Coastal ecosystems management: a technical manual for the conservation of coastal resources**. Nova York, John Wiley, 928p. 1977.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO PARANAPANEMA. **Situação dos Recursos Hídricos do Alto Paranapanema (UGRHI 14)**. Minuta Preliminar do Relatório Técnico Final. 2011.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PONTAL DO PARANAPANEMA. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22)**, 2013.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABA E MÉDIO. **Fundamentos da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos na Bacia do Sorocaba e Médio Tietê**. Sorocaba, 2008.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO BAIXO TIETÊ. **Fundamentos para a implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos**. [S.l]. 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Gerenciamento de riscos**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>.

COSTA, D. M. **Estabelecimento de um índice de sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes fluviais, com o suporte da ferramenta MORPH**. Rio Claro, 2014. 193 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas

CUNHA, C.M.L. **A Cartografia do Relevo no Contexto da Gestão Ambiental**. 2001 128 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2001.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - EPA. **Understanding oil spills and oil response**. EPA, 1997. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>.

FIGUEIRÊDO, M. C. B de; VIEIRA, V. P. P. B.; MOTA, S.; ROSA, M. F.; MIRANDA, S. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental**. Embrapa Agroindústria Tropical. Fortaleza, CE. 2010.

(FUSP) FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO TIETÊ - DIAGNÓSTICO ANALÍTICO DA BACIA**. Setembro de 2008.

GOOGLE. **Guia do Usuário**, 2014.

GOOGLE EARTH-MAPS. <http://mapas.google.com>. Consultas realizadas entre junho de 2013 e dezembro de 2014.

GONÇALVES, F.; ROCHA, P.C. **CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANASTÁCIO/ OESTE PAULISTA**. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos - Crises, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperanças. Espaço de diálogos e práticas. 25 a 31 de julho de 2010. Porto Alegre – RS. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: ENG, 2010, p. 1-12. Disponível em: <<http://www.agb.org.br/evento/download.php?idTrabalho=1246>>. Acesso em: 13 set. 2013.

GRUBER, N.L.S. BARBOZA, E.G. NILOLODI, J.L. **Geografia dos Ecossistemas Costeiros e Oceanográficos: Subsídios para a Gestão Integrada da Zona Costeira**. GRAVEL. n 1. p81-89. Porto Alegre. 2003.

GUERRA, A, J, T, CUNHA, S.B. **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. 9ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 479p

GUERRA, A, J, T, MARÇAL, M,S. **Geomorfologia Ambiental**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 190p

GUNDLACH, E.R. & HAYES, M.O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Marine Technology Society Journal**, v. 2, n. 4, p. 18-27, 1978.

HAYES, M. O.; MICHEL, J.; DAHLIN, J. A. Identifying and mapping sensitive resources for inland area planing. In: **International Oil Spill Conference**. 1995, p. 365-371. Disponível em: <<http://ioscproceedings.org/>>.

HAYES, M O.; MICHEL, J.; MONTELLO, T. M.. The environmental sensitivity index (ESI) for mapping rivers and streams. In: **International Oil Spill Conference**. p. 343-350, 1997. Disponível em: <<http://ioscproceedings.org/>>.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Relatório Acidentes Ambientais 2012**. 2013. 27 p. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br>>.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, São Paulo: IPT, 1981b. 2v.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**, São Paulo: IPT, 1981. 2v.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**, São Paulo: IPT, 1981a. 2v.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**, São Paulo: IPT, 1997.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS. **Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG) – SP/MG (Relatório Síntese – R3)**. São Paulo, 2008.

INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION - IPIECA. **A Sensitivity Mapping for Oil Spill Response**. IMO/IPIECA Report Series: volume 1. 1996. 24 p. Disponível em: <<http://www.ipieca.org>>.

ITOPF (The International Tankers Owners Pollution Federation Ltd). **Oil tanker spill statistics: 2006**. ITOPF. 2007. 8 p. Disponível em: <<http://www.itopf.com/stats06.pdf>>. Acesso em: 13 abr. 2014

JENSEN, J. R.; HALLS, N. J.; MICHEL, J. **A system approach to environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spill contingency planning and response**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. v. 64, n.10, p. 1003-1014, 1998.

LIMA, M. V.; DIAS-BRITO, D.; MILANELLI, J. C. C. **MAPEAMENTO DA SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMES DE ÓLEO EM ILHABELA, SÃO PAULO**. Revista Brasileira de Cartografia No 60/02, agosto 2008. (ISSN 1808-0936). Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/viewFile/36/37>>. Acesso em: 02 mar. 2014.

MACEDO, S.S. **Litoral Urbanização- Ambientes e seus Ecossistemas Frágeis**. Paisagem Ambiente Ensaios, n.12 p.151-232. São Paulo. 1999.

MICHEL, J.; HAYES, M. O.; DAHLIN, J. A. **Sensitivity mapping of inland areas: technical support to the inland area planning committee working group USEP region 5**. Hazmat Report. 69 p., 1994.

MILANELLI, J.C.C. **Vazamentos de óleo no mar: Impactos Ambientais e Procedimentos de Emergência**, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derrames de Óleo**, 108 p. 2002.

MORTATTI, J. et al. **Hidrologia dos Rios Tietê e Piracicaba: séries temporais de vazão e hidrogramas de cheia Centro de Energia Nuclear na Agricultura-USP (Piracicaba, Brasil)**. Revista de Ciência & Tecnologia V. 12, Nº 23 – pp. 55-67.

NOAA. **Environmental sensitivity index guidelines, version 2.0**. NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 115. Seattle: Harzadous Materials Response and Assessment Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 79 p. 1997.

OLIVEIRA, W. J. DE; BRAUN, O. P. G; PERREIRA JR, E. R; NASCIMENTO, V. L DO; BRAGA FILHO; J.B; PINESCHI, R; RODRIGUES, A. F; LOEIRO, R. T. M e BIZERRIL, C. R. S. F. 2003. **Mapas de Sensibilidade Ambiental para Faixas de Dutos Terrestres**. In: Rio Pipeline Conference e Exposition Rio de Janeiro. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP. 9p.

PINCINATO, F.L. **Mapeamento da sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo para a região costeira de São Sebastião e Caraguatatuba, litoral norte de São Paulo, SP, com uso de modelagem em SIG de sistema especialista baseado em conhecimento e árvore de decisão**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) –

Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro. 2007

RIEDEL, P. S.; CUNHA, C. M. L. **Tabela de feições: índices de sensibilidade ao derramamento de óleo**, 2012.

ROCHA, P. C.; ARAÚJO, A. P. **O REGIME HIDROLÓGICO NA BACIA DO RIO PARANAPANEMA: variabilidade interanual e espacial**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió – AL, 2011.

ROCHA, T. C. F. **Mapeamento da Sensibilidade Ambiental do Litoral de Ubatuba-SP a Vazamentos de Petróleo**. Dissertação de Mestrado Universidade Estadual Paulista, Campus Rio Claro, Rio Claro, SP, 2008

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. [199-]

SANTOS, T. C. S.; CÂMARA, J. B. D. (org). GEO Brasil 2002 – perspectivas do meio ambiente no Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2002. p.447.

SILVA, G. H; LIMA, S. O. F; ARAÚJO, S. I; GOMES, C. C. **MAPEAMENTO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL A DERRAMES DE ÓLEO EM AMBIENTES COSTEIROS**. In: Primeiro Congresso Brasileiro de Avaliação de Impacto, 2012, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABAI, 2012, p. 1-10. Disponível em: <http://http://avaliacaodeimpacto.org.br/wp-content/uploads/2012/10/085_impact_petroleo.pdf>. Acesso em: 22 nov. 2013.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. de Sá. **Iniciando no ARCGIS**. Centro Universitário de Belo Horizonte UniBH, 2010.

SILVEIRA, A.; CUNHA, C.M.L.da. **A INFLUÊNCIA DA DECLIVIDADE NOS PROCESSOS EROSIVOS DA BACIA DO TIJUCO PRETO – SP**. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia/ Regional Conference on Geomorphology. **Anais eletrônicos...** Goiânia, 6 a 10 de setembro de 2006, p. 1-9. Disponível em: <<http://www.labogef.iesa.ufg.br/links/sinageo/articles/110.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2013.

SILVEIRA, A.; CUNHA, C. M. L. da. **CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA COMO SUBSÍDIO PARA A ANÁLISE DAS INTERFERÊNCIAS DO USO DA TERRA NO DESENCADEAMENTO DOS PROCESSOS EROSIVOS: UM ESTUDO EM ÁREA CANAVIEIRA**. RA'E GA 21 (2010), p. 365-391. Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR.

STERN, A. G. – 2007. **Parâmetros texturais de sedimento para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao derrame de óleo, Cartas SAO**. São Paulo, 2007. 96 fls. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

WIECZOREK, A. **Mapeamento de sensibilidade a derramamentos de petróleo do Parque Estadual da Ilha do Cardoso – PEIC e áreas de entorno**. 2006. 157 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

ZANIRATO, S. H. **HISTÓRIA DA OCUPAÇÃO E DAS INTERVENÇÕES NA VÁRZEA DO RIO TIETÊ**. Revista Crítica Histórica Ano II, Nº 4, Dezembro/2011.

APÊNDICE

8. Apêndice A: Banco de Dados completo.