

Trabalho de Graduação
Curso de Graduação em Geografia

Avaliação das Características Geomorfológicas na Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo: Estudo de caso no baixo curso do Rio Piracicaba

Daniela Ferreira Ribeiro

Prof(a).Dr(a). Cenira Maria Lupinacci da Cunha

Rio Claro (SP)

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

DANIELA FERREIRA RIBEIRO

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS
NA SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMES DE ÓLEO:
ESTUDO DE CASO NO BAIXO CURSO DO RIO PIRACICABA

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

551.4a Ribeiro, Daniela
R484a Avaliação das características geomorfológicas na
sensibilidade ambiental a derrames de óleo : estudo de caso
no baixo curso do rio Piracicaba / Daniela Ribeiro. - Rio
Claro, 2015
74 f. : il., figs., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Geografia)
- Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e
Ciências Exatas
Orientador: Cenira Maria Lupinacci da Cunha

1. Geomorfologia. 2. Ambientes fluviais. 3. Mapeamento
geomorfológico. 3. Cartas SAO. I. Título.

DANIELA FERREIRA RIBEIRO

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS
NA SENSIBILIDADE AMBIENTAL A DERRAMES DE ÓLEO:
ESTUDO DE CASO NO BAIXO CURSO DO RIO PIRACICABA

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

Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci da Cunha (orientador)

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Profa. Dra. Andreia Medinilha Pancher

Rio Claro, ____ de _____ de ____.



Assinatura do(a) aluno(a)

assinatura do(a) orientador(a)

*Em memória de vó Luzia
e Mariane Faganello.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Vander e Cleonice por estarem ao meu lado em todos os momentos, sempre com incentivo, auxílio e apoio.

A minha orientadora Profa Cenira Maria Lupinacci da Cunha, pelos ensinamentos, paciência, incentivo e dedicação.

A turma 52º do curso de Geografia da UNESP – Campus de Rio Claro, por tornarem os meus cinco anos de graduação os anos mais incríveis e memoráveis.

As pessoas do Laboratório de Geomorfologia (LAGEO), principalmente a Letícia Giuliana, Claudia Vanessa, Camila e Ramon por todo auxílio nos momentos de dificuldades.

Ao Bruno Godoy pelos dois anos de parceria, lealdade e amizade.

Ao apoio financeiro da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e do Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás (PRH-ANP/MCT) e do Programa de Formação de Recursos Humanos da Petrobras.

A todas as pessoas que contribuíram direta ou indiretamente nesta etapa tão importante da minha vida.

*People moving all the time
Inside a perfectly straight line
Don't you wanna just curve away?
(Strawberry Swing - Coldplay)*

RESUMO

As Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo (Cartas SAO) constituem-se em ferramentas importantes para o planejamento de contingência e avaliação de danos causados pelos vazamentos de óleo. Assim, o principal objetivo deste trabalho é contribuir com a avaliação da sensibilidade da dinâmica fluvial aos derrames de óleo. Através da identificação e mapeamento das feições geomorfológicas de origem fluvial buscou-se avaliar o significado dessas feições em termos de sensibilidade ao derrame de óleo. Utilizando-se de imagens orbitais, obteve-se o mapeamento geomorfológico da região e por meio deste realizou-se a análise dos parâmetros geomorfológicos da área de estudo, a fim de caracterizar o índice de sensibilidade ambiental a derrames de óleo e derivados das feições encontradas. Portanto, a realização de um mapeamento da sensibilidade ambiental a partir de parâmetros geomorfológicos contribui para a produção de Cartas SAO, que irão auxiliar nos procedimentos de contenção e limpeza em caso de acidentes em ambientes fluviais e terrestres, sendo estes locais pouco abordados em estudos realizados no Brasil.

Palavras-chave: Mapeamento Geomorfológico, Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo, Cartas SAO

ABSTRACT

The environmental sensitivity charts to oil constitute an important tools for contingency planning and assessment of damage caused by oil spills. The main objective of this article is to evaluate the sensitivity of river dynamics to oil spills. Through the identification and mapping of fluvial geomorphological features will be assessed the importance of these resources in terms of sensitivity to oil spills. Through satellite images, was obtained the geomorphological mapping and geomorphological parameters were analysed, in order to characterize the environmental sensitivity to oil spills and derivatives. Therefore, the implementation of an environmental sensitivity mapping from geomorphological parameters contributes to the mapping of the environmental sensitivity to oil, which will assist in the containment and cleanup procedures in case of accidents in fluvial and terrestrial environments, that are slightly studied in Brazil.

Key words: Geomorphology mapping, Environmental Sensitivity to Oil, Environmental Sensitivity Charts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Produção energética no Brasil no ano de 2010.....	11
Figura 2: Localização da Área de Estudo.....	16
Figura 3: Esboço dos compartimentos geomorfológicos encontrados na região.	18
Figura 4: Esboço das características geológicas da área de estudo.....	20
Figura 5: Esboço pedológico da área de estudo.	21
Figura 6: Recorte ilustrativo com a presença de processos de erosão fluvial lateral, originando margem erosiva, deposicional e praias fluviais, destacadas pelas setas em preto.	50
Figura 7: Recorte ilustrativo com a presença de depósito aluvial, identificado pela presença de uma vegetação com textura mais grumosa e coloração mais escura, em comparação com a vegetação da vertente, com textura mais lisa e coloração mais clara.....	51
Figura 8: Presença de depósito aluvial com ausência de vegetação, identificado através de diferenciações na tonalidade de cinza, apresentando tons de cinza mais escuro, em comparação com a vertente, que apresenta tons de cinza mais claro. ...	52
Figura 9: Recorte ilustrativo da presença de um dique fluvial.	53
Figura 10: Recorte ilustrativo de um dique fluvial antigo ao lado de um depósito aluvial.	54
Figura 11: Recorte ilustrativo do terraço fluvial ao lado de um depósito aluvial.	55
Figura 12: Recorte ilustrativo de um terraço fluvial seguido de um dique aluvial. Destaca-se a diferença de cor e textura entre ambos que possibilitou a sua diferenciação.....	56
Figura 13: Recorte ilustrativo da presença de canais com fundo de vale em V e fundo de vale plano.	57
Figura 14: Recorte do mapa geomorfológico da área de estudo, localizado no extremo oeste da área.....	62
Figura 15: Trecho localizado no extremo oeste da área de pesquisa com a respectiva legenda indicativa das feições sensíveis.	64
Figura 16: Trecho do mapeamento geomorfológico com a presença de um dique fluvial seguido de planície aluvial, cuja sensibilidade corresponde a 9a.	66

Figura 17: Trecho do mapeamento de sensibilidade ambiental com a presença de um dique fluvial seguido de planície aluvial, cuja sensibilidade corresponde a 9a....	67
Figura 18: Trecho do mapeamento geomorfológico com presença de área urbana.	68
Figura 19: Trecho do mapeamento de sensibilidade ambiental ao óleo.	69
Figura 20: Trecho do mapeamento geomorfológico ilustrativo da concentração urbana da cidade de Piracicaba e a presença de soleiras fluviais.	70
Figura 21: Trecho do mapa de sensibilidade ambiental com a respectiva legenda. .	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Acidentes envolvendo derrames de petróleo no Brasil entre os anos de 1960 e 2012.	12
Tabela 2: Acidentes com derrames de petróleo em ambientes continentais no Brasil entre os anos de 1983 e 2013.....	14
Tabela 3: Comparação da classificação de sensibilidade adotada pelo NOAA com a proposta para os ambientes costeiros do Brasil.....	29
Tabela 4: Proposta para classificação de sensibilidade ambiental a derrames de óleo para ambientes fluviais de Hayes, Michel e Montello (1997).....	33
Tabela 5: Proposta de classificação de sensibilidade a derrames de óleo em ambientes estuarinos, lacustres e fluviais de Hayes, Michel e Dahlin (1995).	36
Tabela 6: Variáveis selecionadas para cada condição e os seus critérios de interpretação.	38
Tabela 7: Feições fluviais amazônicas.....	40
Tabela 8: Proposta de índice de sensibilidade ambiental para ambientes fluviais, elaborada pelo MMA.	41
Tabela 9: Resultados obtidos para os trechos analisados.	43
Tabela 10: Simbologia utilizada para a identificação das feições geomorfológicas de origem fluvial do setor de fundo de vale do Rio Piracicaba adaptado de Tricart (1965) e Verstappen e Zuidan (1975).....	49
Tabela 11: Legenda utilizada para a representação das áreas sensíveis ao óleo. ...	59

SUMÁRIO

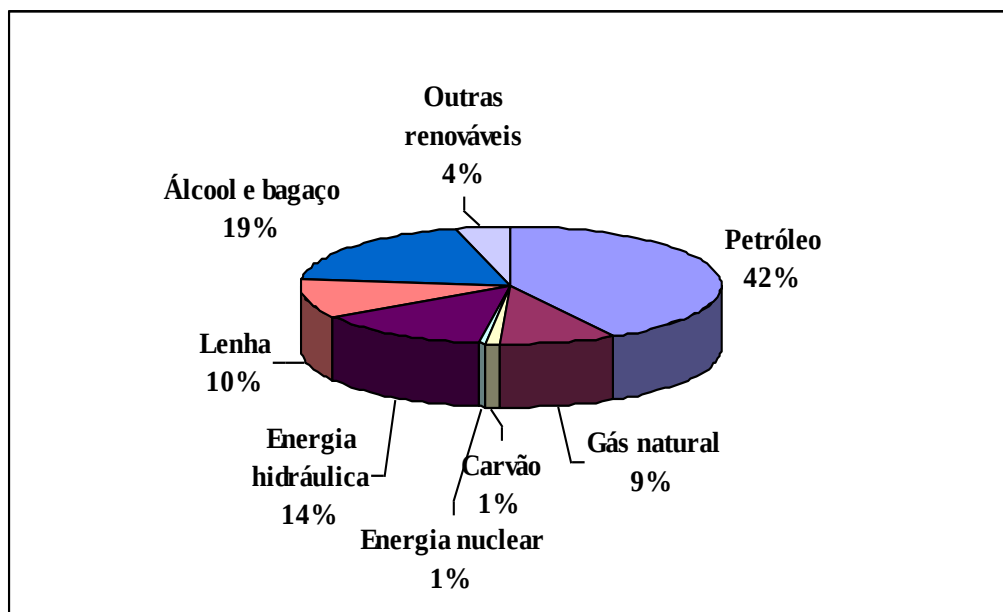
1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivos Gerais	15
2.2 Objetivos Específicos	15
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	16
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
5 MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS	45
5.1 Materiais	45
5.2 Métodos	46
5.3 Técnicas	47
<i>5.3.1 Base Cartográfica.....</i>	<i>47</i>
<i>5.3.2 Carta Geomorfológica</i>	<i>47</i>
<i>5.3.3 Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo das Feições Geomorfológicas.....</i>	<i>58</i>
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
APÊNDICE – CD	78

1 INTRODUÇÃO

Durante sua existência homem busca formas de obtenção de energia para sua sobrevivência e a realização de suas atividades. O aumento da população mundial vem causando intensa exploração das fontes de energia disponíveis no meio ambiente. Dentre estes recursos o petróleo destaca-se como uma das principais fontes de energia utilizada pelo homem.

De acordo com Metri (2012), segundo dados da Statistical Review of World Energy do ano de 2010, o petróleo ocupa a primeira posição como fonte de energia consumida no mundo. Segundo dados da Agência Nacional de Petróleo (2011), este recurso seguramente continuará a manter esse status por tempo indeterminado, visto que novas reservas são encontradas a cada ano. No Brasil, o petróleo corresponde a 42% da matriz energética nacional (Figura 1).

Figura 1: Produção energética no Brasil no ano de 2010.



Fonte: METRI, 2012.

O petróleo resulta das reações químicas que ocorrem em fósseis depositados no fundo do mar e através desse é possível gerar energia elétrica, bem como, produzir diversos produtos fundamentais para a humanidade, dentre eles a gasolina, combustível utilizado por grande parte dos automóveis do mundo. Os derivados do

petróleo também são utilizados como matéria prima de remédios, plásticos, borrachas, asfaltos, pneus, tintas, solventes, entre outros.

Entretanto, a intensa utilização do petróleo acarreta riscos ao meio ambiente, devido à possibilidade de acidentes envolvendo vazamentos de óleo. O petróleo apresenta um alto teor de toxicidade, sendo altamente inflamável e nocivo. Segundo Mariano (2001) os impactos do petróleo como poluente podem gerar impactos sobre a saúde, como irritação nos olhos, problemas no sistema cardiovascular e respiratório, bem como danos irreversíveis ao meio ambiente. Portanto, derrames desse produto no ambiente podem ocasionar danos graves à vegetação e aos ecossistemas, bem como prejuízos socioeconômicos e riscos a população.

Os acidentes envolvendo derrames de óleo estão diretamente relacionados ao processo de transporte dos hidrocarbonetos. Os principais tipos de transporte dividem-se em terrestres, como o ferroviário, rodoviário e dutoviário, e transportes aquaviários, que utilizam as vias hídricas para navegação. Os desastres ocorrem principalmente devido a colisões de navios transportadores, rompimento de dutos, explosões em plataformas e acidentes envolvendo veículos transportadores.

Na Tabela 1 apresentam-se os principais acidentes envolvendo derrames de petróleo no Brasil entre os anos de 1960 e 2012.

Tabela 1: Acidentes envolvendo derrames de petróleo no Brasil entre os anos de 1960 e 2012.

Ref.	Ano	Local	Ocorrência	Vol. Vazado
1	1960	Ilha de Trindade/ES	Petroleiro Sinclair	66,5 mil m ³
2	1974	Canal de São Sebastião/SP	Petroleiro Takimyia Maru	6 mil m ³
3	1975	Baía de Guanabara/RJ	Petroleiro Tarik Ibn Ziyad	6 mil m ³
4	1978	Ubatuba/SP	Petroleiro Brazilian Marina	6 mil m ³
5	1984	Cubatão/SP	Oleoduto	Não estimado
6	1984	São Sebastião/SP	Terminal de armazenamento	Não estimado
7	1985	São Sebastião/SP	Navio Marina	2,5 mil m ³
8	1985	Cubatão/SP	Refinaria	500 m ³
9	1990	Baía de Guanabara/RJ	Navio Horta Barbosa	20 m ³
10	1994	São Sebastião/Cubatão/SP	Oleoduto	2,7 mil m ³
11	1997	Baía de Guanabara/RJ	Oleoduto	2,8 mil m ³
12	1998	Santos/SP	Navios Smyrni e Elizabeth Rickmers	40 m ³
13	1999	Manaus/AM	Oleoduto	3 m ³
14	1999	Carmópolis/SE	Sonda em campo terrestre	Não estimado
15	2000	Baía de Guanabara/RJ	Oleoduto/Refinaria	1,3 mil m ³
16	2000	Paraná/PR	Refinaria	4 mil m ³
17	2001	Mato Grosso/MT	Oleoduto	4 mil m ³
18	2001	Bacia de Campos/RJ	Plataforma P 36	1,5 mil m ³

Ref.	Ano	Local	Ocorrência	Vol. Vazado
19	2001	Bacia de Campos/RJ	Plataforma P 7	124 mil m ³
20	2001	Baía de Paranaguá/PR	Navio Norma	5 mil m ³
21	2004	Porto de Paranaguá/PR	Navio químico Vicuña	291 mil m ³
22	2005	Rio Negro/AM	Naufrágio de barcaça	Não estimado
23	2008	Baía de São Francisco/SC	Embarcação Norsul	116 mil L
24	2009	Porto de Murice/CE	Navio Chembulk Shanghai	3 ton
25	2009	Acre/AC	Barcaça	25 mil L
26	2009	Rio Negro/AM	Barcaça	5 mil L
27	2010	Litoral do Ceará	Plataforma Xaréu (PXA 1)	141 L
28	2010	Porto de Recife/PE	Embarcação	Não estimado
29	2010	Bacia de Santos	Plataforma de Mexilhão	50 L
30	2011	Cubatão/SP	Refinaria	Não estimado
31	2011	Bacia de Campos/RJ	Plataforma Chevron	356 mil L
32	2012	Tramandaí/RS	Transporte Marítimo	1,2 m ³
33	2012	Bacia de Santos/SP	Navio Plataforma Dynamic Producer	26 m ³

Fonte: Costa, 2013.

Dentro desse contexto, a Carta de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo (Cartas SAO) constituem um importante instrumento para o planejamento de contingência e avaliação de danos causados pelos vazamentos.

Segundo Beaumord e Ferreira (2008), os mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo são importantes ferramentas técnico-gerenciais utilizadas na tomada de decisões emergenciais em caso de combate a derrames de óleo. A utilização desses mapas apresenta grande importância, pois, além de fornecer informações para o planejamento de contenção e limpeza para mitigar os impactos ambientais, auxilia a identificação de locais sensíveis antes que ocorra o acidente, de modo que as estratégias de proteção e contenção possam ser organizadas antecipadamente para tais locais.

Atualmente, tem-se um satisfatório levantamento da sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo bruto e seus derivados em ambientes litorâneos e um ainda incipiente levantamento para as águas interiores, que também devem ser paralelamente priorizadas, uma vez que diversos cursos fluviais são utilizados para o transporte de petróleo e derivados através de embarcações ou localizam-se nas imediações de oleodutos, refinarias ou outras instalações industriais relevantes, aglomerados urbanos, rodovias e diversas outras fontes potenciais de exposição do canal a este tipo de poluição.

No Brasil, os acidentes envolvendo ambientes fluviais vêm intensificando-se ao longo dos anos. De acordo com Costa (2013), esses acidentes estão relacionados principalmente ao transporte rodoviário e por meio de oleodutos. A

Tabela 2 apresenta os principais acidentes com derrames de petróleo em ambientes continentais no Brasil.

Tabela 2: Acidentes com derrames de petróleo em ambientes continentais no Brasil entre os anos de 1983 e 2013.

Ref	Ano	Local	Ocorrência	Vol. Vazado
1	1983	São Bernardo do Campo/SP	Oleoduto	200 m³
2	1987	Guararema/SP	Oleoduto	250 m³
3	1998	São José dos Campos/SP	Oleoduto	1.000 m³
4	1998	São Paulo/SP	Gasoduto	Não estimado
5	2000	Cubatão/SP	Oleoduto	500 L
6	2000	Araucária/PR	Oleoduto	4 mil m³
7	2001	Barueri/SP	Oleoduto	200 m³
8	2001	Osasco	Oleoduto	100 T
9	2001	Paraná/PR	Poliduto	48,5 mil L
10	2009	Canoas/RS	Oleoduto	Não estimado
11	2011	Lages/SC	Trem	Não estimado
12	2012	São Sebastião/SP	Caminhão tanque	15 mil L
13	2012	Cascavel/PR	Caminhão tanque	10 mil L
14	2012	Jaraguá do Sul/PR	Gerador de energia elétrica	20 a 50 L
15	2012	Santarém/AM	Caminhão tanque	10 mil L
16	2013	Manaus/AM	Balsa	60 mil L
17	2013	Manaus/AM	Balsa	15 mil L
18	2013	Jaraguari/MS	Caminhão tanque	30 mil L
19	2013	Barbacena/MG	Caminhão tanque	40 mil L
20	2013	São José do Barreiro/SP	Oleoduto	49 mil L
21	2013	Santarém/AM	Balsa	Não estimado

Fonte: Costa, 2013.

Os ambientes fluviais constituem-se em áreas de complexa estruturação sendo as informações a respeito da dinâmica dos rios fundamental para a identificação de áreas passíveis a riscos ambientais, portanto a geomorfologia corresponde a uma área de conhecimento relevante para realização de análise e caracterização dos ambientes, sendo o mapeamento das feições geomorfológicas dos ambientes fundamental para a produção das Cartas SAO.

Dessa forma, o mapeamento da sensibilidade a derrames de óleo, a partir de parâmetros geomorfológicos, pode tornar-se uma importante ferramenta para auxiliar o desenvolvimento e produção de cartas de sensibilidade ambiental ao óleo dos ambientes fluviais. Tendo em vista a grande importância da bacia do rio Piracicaba, torna-se importante o estudo de medidas de proteção ambiental desta região. Ainda, acredita-se que essa pesquisa possa contribuir para estudos futuros, visto que no Brasil, pesquisas sobre sensibilidade ambiental a derrames de óleo em ambientes fluviais é assunto ainda a ser mais bem explorado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho teve como principal objetivo colaborar com a avaliação da sensibilidade ambiental a derrames de óleo nos ambientes fluviais. Assim, através de uma análise, identificação e mapeamento das feições geomorfológicas de origem fluvial do baixo curso do rio Piracicaba, foram identificados os índices de sensibilidade ambiental das mesmas, e desenvolveu-se a construção do mapa de sensibilidade ambiental ao óleo das feições geomorfológicas encontradas.

2.2 Objetivos Específicos

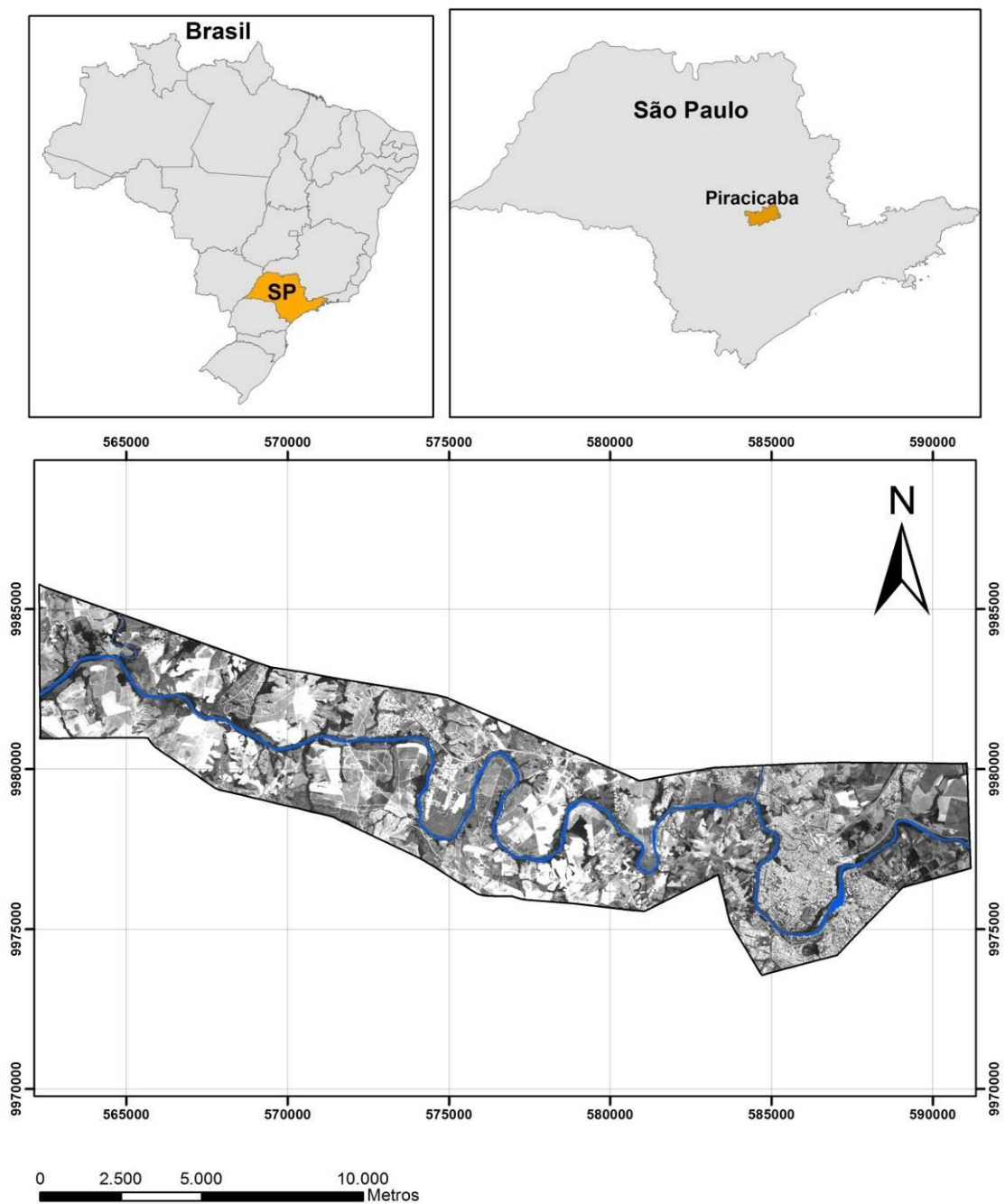
Os objetivos específicos do presente trabalho foram:

1. Analisar bibliografias a respeito dos temas Geomorfologia, Geomorfologia Fluvial, Petróleo e derivados e Sensibilidade Ambiental ao Óleo.
2. Realizar o mapeamento geomorfológico da área, através de ferramentas de geoprocessamento, buscando assim aperfeiçoar o uso destas técnicas na realização de cartas geomorfológicas, bem como, colaborar com a expansão da utilização destas ferramentas em pesquisas de análise dos ambientes.
3. Elaborar uma simbologia adequada que represente as feições encontradas na região, bem como, uma legenda que represente os índices de sensibilidade ambiental ao óleo das feições geomorfológicas encontradas.
4. Colaborar com a construção de Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo dos ambientes fluviais, através da análise e identificação dos índices de sensibilidade ambiental ao óleo dos parâmetros geomorfológicos mapeados na área.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para a realização do presente trabalho foi selecionada como área de estudo o fundo de vale do baixo curso do Rio Piracicaba, localizado na região central do estado de São Paulo, entre a cidade de Piracicaba e o distrito de Artemis, entre as coordenadas $22^{\circ} 39' 72''$ e $22^{\circ} 42' 28''$ Sul e $47^{\circ} 53' 11''$ e $47^{\circ} 36' 65''$ Oeste (Figura 2).

Figura 2: Localização da Área de Estudo



Elaborado pela autora.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, (1981) a região localiza-se na Zona do Médio Tietê, no interior da Depressão Periférica Paulista.

Segundo Moraes Rego (1932, apud ALMEIDA, 1974), a Depressão Periférica Paulista constitui-se de uma área rebaixada pela erosão entre as terras altas do Planalto Atlântico e as cristas elevadas das cuestas basálticas. De acordo com Ab'saber (1969, apud IPT, 1981), esta região tem a forma de um corredor com uma topografia colinosa de aproximadamente 50 km de largura, embutido entre a cuesta da Borda da Mata e Monte Santo e as elevações cristalinas do acidentado Planalto Atlântico. Esta área corresponde à faixa de ocorrência das sequências sedimentares infra-basálticas paleozoicas e mesozoicas do Estado de São Paulo, incluindo áreas descontínuas de corpos intrusivos, sob forma de diques e “sills” de diabásio.

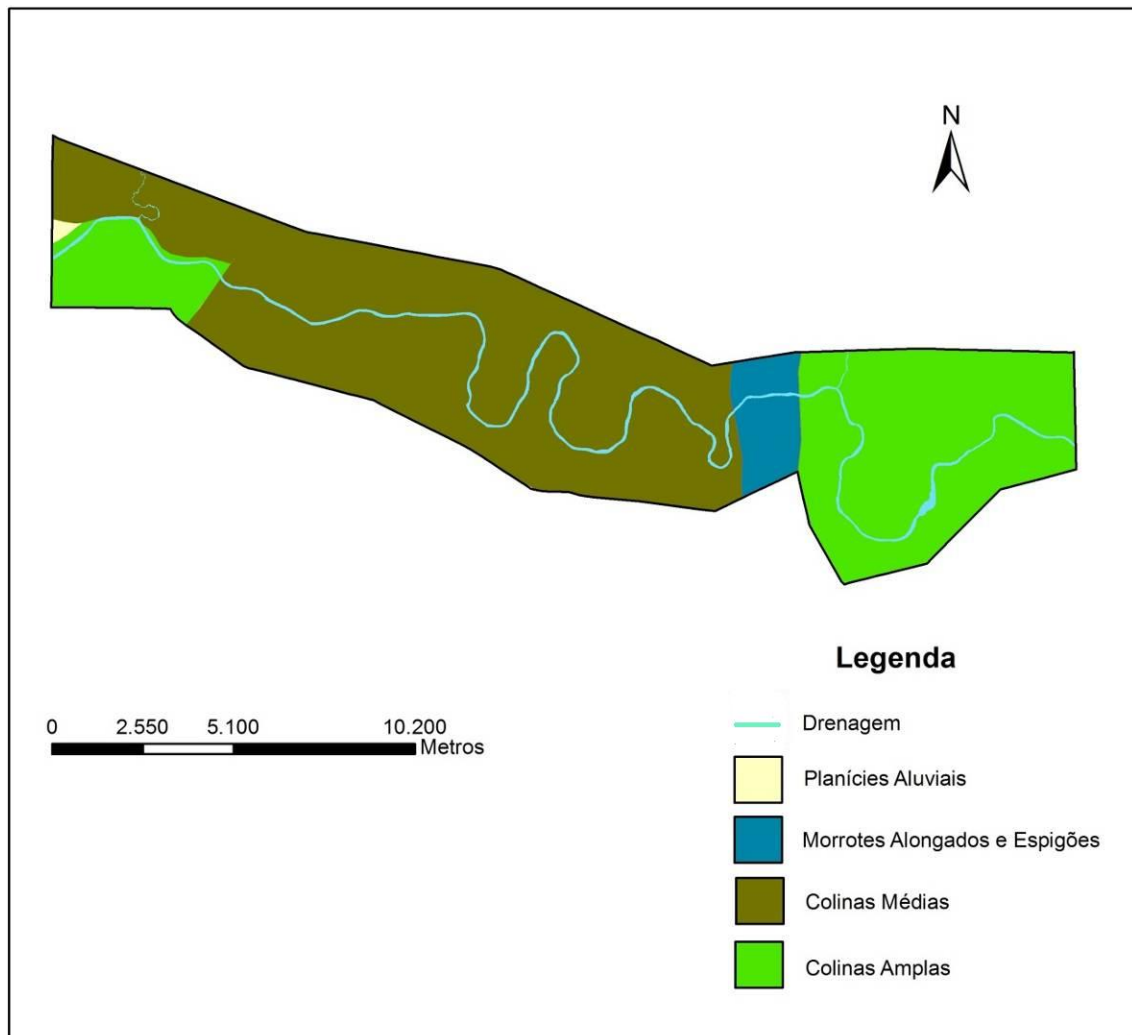
A Zona do Médio Tietê possui uma área de cerca de 15.200 km², constituída em sua maior parte por sedimentos e áreas de derrames e intrusões de rochas basálticas. A topografia da zona é pouco acidentada, com desníveis locais que não ultrapassam 200 m. Há o predomínio de colinas baixas, de formas suavizadas, separadas por vales, sem planícies aluviais importantes, determinados pela interseção dos perfis convexos das vertentes. Toda a zona é coberta por uma rede de drenagem bastante organizada, de padrão dendrítico, destacando-se os rios Tietê e seus dois afluentes, o Piracicaba e o Sorocaba.

De acordo com Almeida (1974), o rio Piracicaba apresenta aspectos variados ao atravessar a Depressão Periférica Paulista. Na cidade de Piracicaba, o rio apresenta seu principal acidente, ao precipitar-se sobre o sill de diabásio que se expõe em seu leito. A montante desse salto o vale é estreito, com escarpas de solapamento nas margens, onde se encontram arenitos da Série Tubarão. Entre a região de Piracicaba e Artemis o rio apresenta nítidos meandros encaixados (ALMEIDA, 1974).

De forma geral, segundo o IPT (1981), localizam-se na área de estudo em sua grande porção central, as colinas médias (figura 5) com predominância de “interflúvios, topos aplainados, vertentes com perfis retilíneos e convexos” (IPT, 1981). Na porção oeste e leste há predomínio de colinas amplas (figura 5) que se caracterizam por “interflúvios, topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos e convexos” (IPT, 1981) e um pequeno trecho de planície aluvial, marcado por “terrenos baixos e mais ou menos planos, junto às margens dos rios, sujeitos

periodicamente a inundações” (IPT, 1981). Na porção leste ocorre a presença de morrotes alongados e espigões, em que há a presença de “interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e achatados e vertentes ravinadas com perfis retilíneos” (IPT, 1981).

Figura 3: Esboço dos compartimentos geomorfológicos encontrados na região.



Fonte: Adaptado de IPT, 1981.

Em relação às características geológicas da área, segundo o IPT (1981), a região encontra-se na Bacia Sedimentar do Paraná, a qual está incluída a maior parte do Estado de São Paulo. Caracteriza-se por uma unidade geotectônica estabelecida sobre a Plataforma Sul-Americana a partir do Devoniano Inferior ou mesmo do Siluriano (IPT, 1981). A subsidência dessa bacia permitiu a acumulação de grande espessura de sedimentos, lavas basálticas e sills de diabásio.

A região de estudo apresenta, segundo o IPT (1981), em grande parte de sua área “depósitos possivelmente marinhos de planícies de maré, incluindo argilitos, folhelhos e siltitos cinza, arroxeados ou avermelhados, com intercalações de bancos carbonáticos, silicíticos e camadas de arenitos finos” da Formação Corumbataí, do Grupo Passa Dois (figura 6).

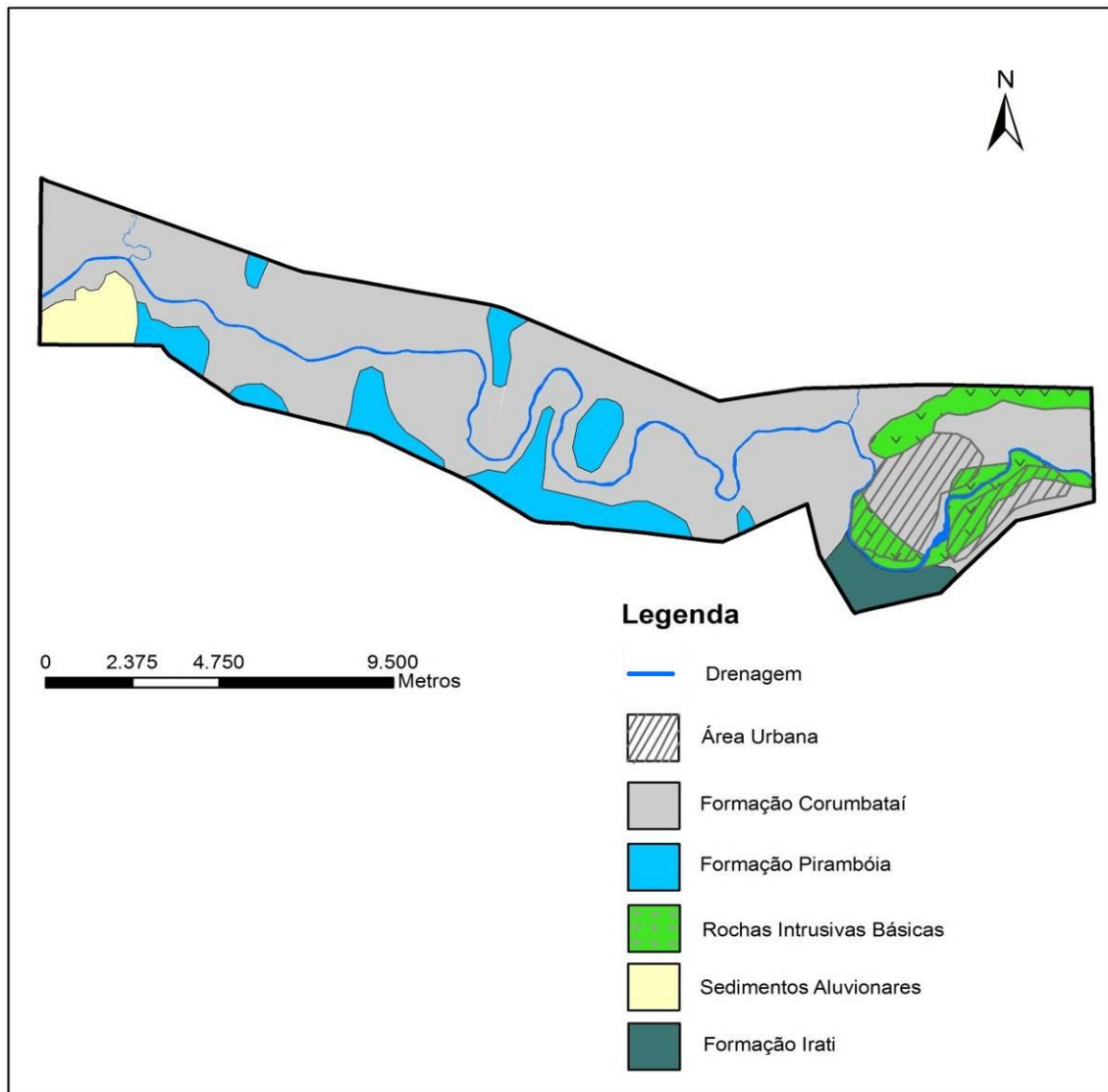
De acordo com o IPT (1981), ocorrem manchas na região central e oeste de depósitos fluviais e de planícies de inundação incluindo arenitos finos a médios, avermelhados, siltico-argiloso, de estratificação cruzada ou plano-paralela, níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas e raras intercalações de natureza areno-conglomerática da Formação Pirambóia, do Grupo São Bento (figura 6).

Na porção leste há presença de manchas de rochas intrusivas básicas tabulares, com presença de “soleiras diabásicas, diques básicos em geral incluindo diabásios, dioritos pórfiros, microdioritos pórfiros, lamprófiros, andesitos, monzonitos pórfiros e traquiandesitos” (IPT, 1981).

Na região oeste, registra-se pequena mancha de sedimentos aluvionares com a presença de “aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e/ou terraço” (IPT, 1981).

Ainda segundo o IPT (1981), há presença na região leste de pequena mancha de siltitos, argilitos e folhelhos silticos de cor cinza clara a escura, folhelhos pirobetuminosos, localmente em alternância rítmica com calcários creme, silicificados e restritos níveis conglomeráticos, membro pelítico muito persistente na base, da Formação Irati, do Grupo Passa Dois (figura 6).

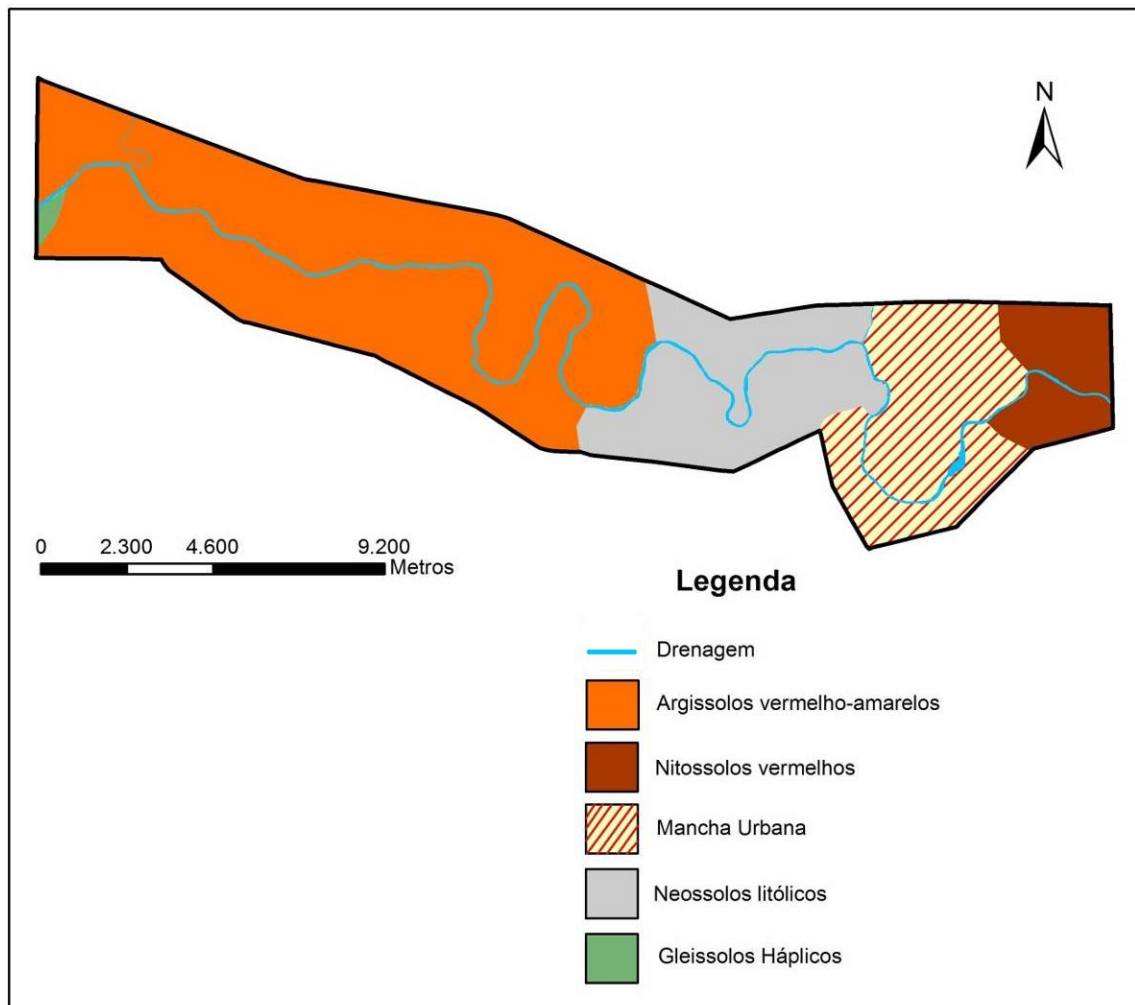
Figura 4: Esboço das características geológicas da área de estudo.



Fonte: Adaptado de IPT, 1981.

Em relação à pedologia local, segundo o Instituto Agronômico de Campinas - IAC (1999), a região é caracterizada por apresentar Argissolos vermelho-amarelo distribuídos pela região oeste e central da área de estudo, Neossolos Litólicos no setor leste e central, pequena porção de Nitossolos Vermelhos na região leste e uma pequena mancha de Gleissolos Hápicos na porção oeste (figura 7).

Figura 5: Esboço pedológico da área de estudo.



Fonte: Adaptado de IAC, 1999.

Segundo a classificação realizada pela Embrapa (1999), os Argissolos são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou argila de atividade alta conjugada, com saturação por bases baixa e com caráter alítico na maior parte do horizonte B. Os Argissolos vermelho-amarelados possuem cores vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas, não se enquadrando nas demais classificações de Argissolos (acinzentados, bruno-acinzentados, amarelos e vermelhos) (EMBRAPA, 1999).

Os Nitossolos são solos que apresentam 350 g/kg ou mais de argila, inclusive no horizonte A, constituídos por material mineral, apresentam horizonte B nítico abaixo do horizonte A, com argila de atividade baixa ou caráter alítico na maior parte do horizonte B, dentro de 150 cm da superfície do solo (EMBRAPA, 1999, p.229).

Os Nitossolos vermelhos são solos cuja a matiz é de 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (EMBRAPA, 1999, p.230).

Os Neossolos classificam-se como solos pouco evoluídos, constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 1999, p. 214).

Os Neossolos Litólicos apresentam-se como solos com horizonte A ou hístico diretamente sobre a rocha, ou sobre um horizonte C ou Cr, ou sobre material com 90% ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões) e que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo. Admite um horizonte B em início de formação, cuja espessura não satisfaz a qualquer tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 1999, p. 214).

De acordo com a classificação realizada pela Embrapa (1999), os Gleissolos são solos constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro de 150 cm da superfície, imediatamente abaixo de horizontes A ou E, ou de horizonte hístico com menos de 40 cm de espessura e não apresentando horizonte vértico ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei, tampouco qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei, ou textura exclusivamente de areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150 cm da superfície do solo ou até um contato lítico.

De acordo com Prado (2004), o clima da região é considerado de transição entre os climas tropical e subtropical e possui estações que não são bem definidas. Segundo Ayoade (1986) na classificação de Köppen, a região é caracterizada como clima tipo Cwa. Esta classificação corresponde a climas temperados chuvosos e moderadamente quentes, com o mês mais frio com temperaturas médias entre -3°C e 18°Cn e o mês mais quente com temperaturas médias maiores que 22°C. A distribuição sazonal desta classificação apresenta chuvas de verão e um inverno seco.

De acordo com Pellegrino (1995 apud FERRAZ e MORTATTI, 2002), a média pluviométrica anual da bacia do Rio Piracicaba é de 1440 mm, sendo a média mensal do período seco, que vai de abril a setembro, inferior a 20 mm e do período úmido, entre outubro e março, em torno de 300 mm.

A vegetação da área, segundo Cabral (2003), era caracterizada por floresta estacional semidecidual, porém, atualmente esta vegetação encontra-se bastante degradada, dando lugar a monocultura intensiva de cana-de-açúcar e plantações de eucaliptos. O rio Piracicaba apresenta em seu curso vegetação de caráter mais arbóreo, típicas de Zonas Ripárias (CÔRREA, 2010).

Segundo Oliveira et al. (2006, apud SILVA, 2009), a cana-de-açúcar ocupa grande parte do território de Piracicaba, estando concentrada principalmente na parte leste, estendendo-se até a porção central do município, envolvendo a área urbana. Seguindo em sentido oeste, encontram-se mais duas áreas significativas de plantio, uma na região sudoeste e outra na região centro-oeste do município.

De acordo com Casseti (1991), a evolução tecnológica do sistema socioeconômico gerou intensas transformações nos elementos dos sistemas físico-ambientais, produzindo alterações, sobretudo nos elementos diretamente relacionados às atividades humanas, como a cobertura vegetal, as formas de relevo e a rede hidrográfica.

Dentro deste contexto a área de estudo apresenta transformações em seu sistema físico-ambiental devido a ações antrópicas envolvendo atividades agropastoris, construção de barragens e obras de engenharia e intensa ocupação urbana, marcada pela cidade de Piracicaba e pelo distrito de Artemis. Portanto, o trecho escolhido para a realização do presente trabalho caracteriza-se como uma área de grande importância econômica e ambiental. Desta forma, pesquisas que visem à elaboração de métodos de preservação e proteção deste ambiente tornam-se fundamentais.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Atualmente, devido ao intenso uso e ocupação da terra, bem como da exploração dos recursos naturais e minerais, os estudos que visam à preservação do meio ambiente apresentam grande importância. Dentre os inúmeros desastres ambientais que atingem os ecossistemas, os acidentes envolvendo derrames de petróleo e derivados em regiões litorâneas, costeiras, estuarinas e fluviais tornaram-se alvo de alta relevância, devido à ampla utilização dessa fonte de energia pela população mundial e pelo grande valor biológico e socioeconômico que estas regiões apresentam. Dentro dessa ótica, o desenvolvimento de estudos relacionados à sensibilidade ambiental a derrames de óleo tornou-se fundamental.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2002):

“As áreas ecologicamente **sensíveis (grifo nosso)**, são descritas no inciso IV do Art. 2º da referida Lei como regiões de águas marítimas ou interiores, definidas por ato do Poder Público, onde a prevenção, o controle da poluição e a manutenção do equilíbrio ecológico exigem medidas especiais para a proteção e preservação do meio ambiente”. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, p.1, 2002)

O conceito de sensibilidade pode ser compreendido pelo nível de resposta, ou seja, de estresse que um determinado ambiente irá gerar devido à ação de um tensor antrópico (MILANELLI, 2011). As áreas sensíveis correspondem àquelas com maiores riscos tanto biológicos quanto socioeconômicos e são regiões onde, se as medidas de resposta forem bem sucedidas, resultam em significativa redução da contaminação (ARAÚJO et al., 2002).

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).

Diretamente relacionado ao conceito de sensibilidade encontra-se o conceito de susceptibilidade. De acordo com Milanelli (2011), a susceptibilidade caracteriza-se pela probabilidade de uma região ser atingida por ações acidentais. O nível de susceptibilidade é determinado pelas características ambientais e socioeconômicas

de cada região, bem como pelo tipo de poluente que pode atingir o local determinado.

Na natureza existem diversos ecossistemas que, devido a suas características físicas e biológicas apresentam uma menor fragilidade e, devido a este fato serão menos impactados por determinados tipos de poluentes, apresentando um nível de susceptibilidade menor. Paralelamente, existem regiões cujas características são muito frágeis a certos tipos de poluentes e em casos acidentais serão amplamente afetadas, apresentando um nível maior de susceptibilidade. Em regiões classificadas com altos níveis de susceptibilidade e sensibilidade ambiental, a vulnerabilidade será maior (MILANELLI, 2011).

De acordo com Contti Neto (2010), o conceito de vulnerabilidade está ligado à incapacidade de um ambiente de receber um impacto. Entretanto, existem diferentes conceituações que serão determinadas pelas características que compõem as regiões. Segundo Boruff et al. (2005, apud CONTTI NETO, 2010), a vulnerabilidade é classificada como um conjunto de fatores que aumentam ou atenuam os efeitos de eventos naturais, tecnológicos ou induzidos pela atividade humana, e tais fatores diminuem a habilidade de recuperação das regiões após a ocorrência do evento.

Segundo Milanelli (2011), o conceito de vulnerabilidade envolve uma série de características dos ecossistemas, tornando-os mais suscetíveis aos diferentes tipos de impactos. Para o autor, o nível de vulnerabilidade ambiental irá variar dependendo das características de cada ambiente e como estas respondem ao óleo. De acordo com Lana e Noernberg (2002), para se desenvolver um índice de vulnerabilidade ambiental devem ser considerados múltiplos fatores provenientes de diversas áreas de conhecimento para uma melhor caracterização da área.

Na realização deste trabalho optou-se pela utilização do termo sensibilidade, devido à realização de uma análise visando apenas o meio físico da região, não considerando os fatores bióticos e humanos como elementos determinantes do índice proposto. De acordo com Alencar (2003), o conceito de sensibilidade ambiental é, muitas vezes, confundido com a definição de vulnerabilidade. A vulnerabilidade está relacionada ao risco tecnológico que determinada atividade econômica provoca sobre o ecossistema em que ela incide, e é determinada pela natureza e extensão do risco que aquelas atividades causam ao ambiente da área em questão. Portanto, a escolha do termo sensibilidade mostra-se eficiente para a realização de pesquisas que enfatizam os aspectos geomorfológicos. Além disso,

pode gerar dados cuja validade seja mais ampla temporalmente, visto que uma análise que aborda ações humanas deve considerar as constantes mudanças ao longo do tempo que estas apresentam.

Dentro deste contexto, destacam-se as Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo (Cartas SAO). Segundo dados da publicação “Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo”, do Ministério do Meio Ambiente (2002), estes mapeamentos:

“... constituem um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo. Ademais, as Cartas SAO representam uma ferramenta fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, na medida em que, ao identificar aqueles ambientes com prioridade de preservação, permitem o direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza.” (Ministério do Meio Ambiente, p. 3, 2002).

Portanto, as Cartas SAO têm por objetivo reduzir as consequências ambientais do vazamento e tornar eficientes os esforços de contenção, limpeza e remoção. Estas Cartas também são úteis no mapeamento e identificação de áreas sensíveis antes que ocorram acidentes envolvendo derrames de petróleo, compondo ferramentas que auxiliem na identificação de áreas prioritárias de proteção, sendo possível delinear estratégias de proteção e limpeza antecipadamente (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002).

Dentro desse contexto, quando se trata de ambientes fluviais, as informações sobre a dinâmica dos rios constituem em instrumental importante para a identificação de tais áreas prioritárias de proteção. Dessa forma, a geomorfologia apresenta-se como uma área de conhecimento importante para uma análise e caracterização dos ambientes.

Para Guerra e Marçal (2009), a utilização da geomorfologia pode auxiliar no desenvolvimento sustentável de porções da superfície terrestre, oferecendo técnicas de pesquisa e conhecimentos sobre as formas de relevo e sobre os processos associados a essas. Dentro deste contexto, a geomorfologia torna-se útil para o planejamento, pois pode se tornar uma ferramenta de prevenção contra a ocorrência de catástrofes e danos ambientais generalizados. Além disso, apesar da geomorfologia preocupar-se principalmente com a terra e a água, atualmente

considera o homem como o mais importante agente geomorfológico em várias partes do mundo (COOKE e DOORNKAMP, 1977, apud GUERRA e MARÇAL, 2009). Portanto:

“(...) os geomorfólogos têm, cada vez mais, compreendido a importância dos seus levantamentos e estudos, com a finalidade de proporcionar uma ocupação mais segura e permanente de diversas partes da superfície terrestre. Onde esses fatos têm acontecido, danos ambientais tornam-se cada vez mais raros, bem como a qualidade de vida, na maioria das vezes é assegurada.” (GUERRA e MARÇAL, p.39, 2009).

De acordo com Pavlopoulos, Evelpidou e Vassilopoulos (2009), a geomorfologia e particularmente, o mapeamento geomorfológico, fornecem a capacidade de identificar e analisar as formas de relevo, bem como, associá-las aos processos de evolução superficial e subterrânea.

Segundo Argento:

“A Geomorfologia serve de base para a compreensão das estruturas espaciais, não só em relação à natureza física dos fenômenos, como à natureza socioeconômica dos mesmos. Pode-se compreender, então, o caráter multidisciplinar que a Geomorfologia apresenta. Nos projetos de gerenciamento ambiental ou até mesmo numa concepção mais integradora, como na de gestão do território, os mapeamentos em base geomorfológica têm sido priorizados e, geralmente, vêm acompanhados de legendas que servem para subsidiar decisões, em níveis pedológicos, climatobotânicos, planialtimétricos e batimétricos, como em nível do uso potencial do solo, tanto urbano, quanto rural.” (ARGENTO 2009, p. 366, 2009).

Portanto, o mapa geomorfológico caracteriza-se como um importante instrumento para caracterização, análise e pesquisa do relevo. De acordo com Tricart (1963 apud ROSS, 2010), o mapa geomorfológico apresenta-se como uma base que direciona as pesquisas, e quando concluído, constitui-se como uma síntese dessas. Ainda segundo o autor, este instrumento deve informar os elementos que descrevem o relevo, estes retirados de cartas topográficas e acrescidos de informações específicas, associados a determinados tipos de relevo; a natureza geomorfológica dos elementos do relevo, realizada através de simbologia gráfica que possui caráter genético; e a datação de suas formas, esta essencial para a identificação das “formas herdadas das formas vivas que continuam a se desenvolver na atualidade e, explicam sua gênese” (ROSS, 2010, p.52).

Atualmente os mapeamentos geomorfológicos estão associados a diversas ferramentas de cartografia computadorizada, utilização de técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica – SIG.

Segundo Argento (2009), a inter-relação entre mapeamentos geomorfológicos e geoprocessamento expande o mercado para a utilização destes mapas, bem como, transforma os mapas geomorfológicos em ferramentas fundamentais para auxiliar na caracterização e análise das informações dos ambientes. Nesse sentido, os mapas geomorfológicos evoluem para um nível multidisciplinar, saindo do contexto academicista e expandindo-se para um mercado de trabalho especializado.

Os mapeamentos geomorfológicos funcionam como subsídio para a identificação dos tipos de terreno, fator de fundamental importância à acomodação do óleo. O terreno também é o responsável pelas espécies bióticas existentes no ambiente.

A partir da determinação das feições geomorfológicas obtidas através da realização do mapeamento, neste trabalho, buscou-se analisar a sensibilidade destas feições em relação a derrames de óleo.

Segundo Braun e Oliveira (2003), os estudos realizados sobre sensibilidade ambiental focavam-se apenas nas regiões costeiras devido às dimensões dos acidentes nestas regiões. Após os acidentes envolvendo ambientes terrestres ocorridos no Paraná nos anos de 1999 e 2000, bem como o aumento de acidentes envolvendo veículos de transporte de óleo e derivados, verificou-se a necessidade de um maior conhecimento da identificação da sensibilidade ambiental das áreas terrestres, que não eram amplamente exploradas, pois eram consideradas pouco significativas. Ainda segundo os autores, os mapas de sensibilidade ambiental das regiões terrestres devem ser priorizados, pois se constituem em importantes ferramentas para auxiliar a reduzir as consequências ambientais em caso de vazamentos de petróleo e orientar os esforços de contenção, limpeza e remoção pela identificação da sensibilidade dos ecossistemas terrestres, seus recursos biológicos e atividades socioeconômicas que caracterizam a ocupação dos espaços e o uso dos recursos naturais.

O conceito das cartas de sensibilidade ambiental evoluiu a partir da década de 1970, período em que os Estados Unidos começaram a desenvolvê-las como elemento essencial aos planos de contingência para a proteção dos recursos naturais (JENSEN, HALLS e MICHEL, 1998).

A *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), Serviço Nacional de Administração dos Oceanos e da Atmosfera dos Estados Unidos elaborou um documento cujo objetivo era a realização de uma normatização para o mapeamento de sensibilidade ao derramamento de óleo, intitulada “*Environmental Sensitivity Index*” (ESI), Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA) que objetivou compilar todas as informações obtidas sobre sensibilidade ambiental ao óleo em formatos padrão de sensibilidade da zona litorânea, de seus recursos biológicos e de utilidade humana (COSTA, 2013).

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente elaborou um documento intitulado “Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo” que apresentou um índice de sensibilidade do litoral (ISL) adaptado às condições dos ambientes brasileiros, mantendo a mesma escala de variação 1 a 10, amplamente baseado no manual norte-americano elaborado pelo NOAA.

Na Tabela 3, apresenta-se uma comparação da classificação de sensibilidade adotada pela NOAA com a proposta nacional adaptada.

Tabela 3: Comparação da classificação de sensibilidade adotada pelo NOAA com a proposta para os ambientes costeiros do Brasil.

Índice	Classificação NOAA	Classificação nacional
1	Molhes expostos e outras estruturas sólidas feitas de concreto, madeira ou metal, impermeáveis.	• Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos. • Falésias em rochas sedimentares, expostas. • Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas.
2	• Escarpas e taludes íngremes de argila (barreiras). • Plataformas de argila erodidas pelas ondas.	• 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.).

Índice	Classificação NOAA	Classificação nacional
3	• Praias de areia fina. • Escarpas e taludes íngremes de areia.	• 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 “<i>long beach</i>”). • Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos. • Campos de dunas expostas
4	• Praias de areia grossa.	• 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).	• 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 (ou de conchas). • Enrocamentos expostos (para proteção da costa).	• Praias de cascalho (seixos e calhaus). • Costa de detritos calcários. • Depósito de tálus. • Enrocamentos (“<i>rip-rap</i>”, guia corrente, quebra-mar) expostos. • Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas).
7	• Planícies de maré (inundáveis) expostas.	• Planície de maré arenosa exposta. • Terraço de baixa-mar.
8	• Estruturas artificiais sólidas abrigadas (<i>piers</i>, instalações portuárias, molhes). • Enrocamentos abrigados. • Escarpas abrigadas.	• Escarpa / encosta de rocha lisa, abrigada. • Escarpa / encosta de rocha não lisa, abrigada. • Escarpas e taludes íngremes de areia, abrigados. • Enrocamentos (“<i>rip-rap</i>” e outras estruturas artificiais não lisas) abrigados.

Índice	Classificação NOAA	Classificação nacional
9	• Planícies tidais (inundáveis) Abrigadas. • Margens de rios com gramíneas e árvores.	• 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	• Pântanos salobros e salgados. • Pântanos de água doce (vegetação herbácea). • Pântanos de água doce (vegetação de mata).	• 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).

Fonte: Costa, 2013.

Os estudos envolvendo a sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes fluviais encontram-se com maior destaque em publicações internacionais.

Os mapeamentos realizados nos estudos de Hayes, Michel e Montello (1997) focaram-se na construção de uma proposta para os rios americanos. 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). De acordo com os autores existem alguns fatores relacionados à contenção e recuperação das áreas que influenciam diretamente os mapeamentos, a saber:

1. Navegação: rios que permitem acesso de pequenos barcos motorizados.
2. Padrões de drenagem: nos rios rochosos e turbulentos, o óleo pode misturar-se a coluna de água, o que dificultaria a limpeza. Em canais largos e retos, cuja corrente é mais forte, o óleo pode fluir para a região central do canal, o que também dificultaria os procedimentos de limpeza. Nos sistemas meandantes, o óleo pode entrar em contato com os bancos de areia presentes, podendo acumular em zonas de fluxo lento, gerando complicações nos procedimentos de limpeza e contenção.

3. Tamanho do canal: em canais pequenos as opções de resposta podem exigir equipamentos menos especializados, em comparação aos canais maiores, que necessitariam de equipamento mais especializado para conter e recuperar o óleo derramado.
4. Ocorrência de pontos de coleta adequados: presença de locais estratégicos que auxiliariam na contenção de derrames, como bancos argilosos, bancos de areia, revestimentos sólidos e rampas para barcos; nestes locais o óleo ficaria preso, o que facilitaria sua recuperação.
5. Fugas e bifurcação: nos locais onde a água se espalha facilmente a contenção torna-se muito mais difícil do que seria num canal com margens bem definidas. Além disso, se o canal abruptamente se divide em uma série de canais menores, com uma multiplicidade de direções em que o petróleo possa fluir, a probabilidade de contenção e de recuperação é dificultada.
6. Tempo de residência: se o petróleo permanece mais tempo no ambiente, maior será o dano ocasionado na região.

Outro critério utilizado por Hayes, Michel e Montello (1997) é a abundância de áreas alagáveis. Em seu estudo, os rios foram organizados em dois tipos: rios que possuem a maior parte de suas águas em regiões montanhosas e rios que possuem a maior parte de suas águas em regiões de planícies.

Os rios cujas águas localizam-se em áreas montanhosas foram classificados como menos sensíveis, pois suas várzeas são mais restritas que as várzeas dos rios das regiões de planície, fato que diminuiria a dimensão atingida pelo óleo.

Através destes critérios, os autores elaboraram uma classificação para a sensibilidade ambiental para regiões fluviais (Tabela 4).

Tabela 4: Proposta para classificação de sensibilidade ambiental a derrames de óleo para ambientes fluviais de Hayes, Michel e Montello (1997).

RSI	Descrição do ambiente	Bases para 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 vulneráveis. O óleo pode ser direcionado para os bancos de baixa sensibilidade. Com maior dificuldade do que o RSI 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 RSI 4, com provável e significativa mortalidade 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.

RSI	Descrição do ambiente	Bases para escala
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 principalmente confinado ao canal reto com bancos relativamente baixos bem definidos. Extensas e baixas planícies de inundação. Associadas a extensos pântanos.	Áreas alagáveis altamente sensíveis, presentes em ambos os lados do canal que são vulneráveis à penetração do óleo. Isso 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 meandrantess 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.

Elaborado por: Hayes, Michel e Montello, 1997. Fonte: Costa, 2013.

Zengel et al. (2001) elaboraram mapeamentos voltados principalmente para a sensibilidade na área de Porto Rico. Foram mapeados dezesseis rios da região, escolhidos de acordo com os critérios de largura do canal, riscos de possíveis derrames e potenciais consequências ambientais.

A classificação de sensibilidade utilizada para o mapeamento dos corpos de água selecionados foi baseada nos seguintes fatores: grau de dificuldade previsto para a contenção e recuperação do óleo derramado a partir da superfície da água, grau de mistura de óleo na coluna de água, potencial de retenção de óleo (por exemplo, a penetração do óleo em sedimentos de granulação grossa nas barras ou entre grandes pedregulhos e aprisionamento de petróleo por vegetação em bancos), facilidade de limpeza, sensibilidade e vulnerabilidade das zonas alagáveis associadas, uso humano e sensibilidade e vulnerabilidade da biota nativa. (ZENDEL et al., 2001).

Os autores também consideram a dinâmica das correntes, o que dificulta a remoção de óleo, pois este se misturaria com as águas do canal.

“The strength of currents and the fall of the water dictates the degree of mixing of oil and its toxic aromatic fractions into the water column, and, hence, the potential for causing the mortality of fish. Therefore, in general, such kills are more likely to occur in streams with rapids and waterfalls than in smooth-flowing, low gradient coastal streams. The success of attempts to contain and recover oil from the water surface is impaired where: (1) currents are too strong or follow complex paths within the channel; (2) channel leakage and bifurcation allow oil to spread and/or escape; (3) access is limited by steep banks or other factors; (4) sediment is too coarse grained to manipulate; and (5) oil is mixed into the water column.” (ZENDEL et al., p.1114, 2001)

Hayes, Michel e Dahlin (1995) propuseram uma metodologia de avaliação de sensibilidade de todos os corpos d'água dos EUA, desde os grandes rios e lagos até os pequenos córregos e lagoas. Segundo os autores, deve ser utilizada a mesma metodologia de ambientes costeiros para os ambientes lacustrinos, estuarinos e para os grandes rios, e uma abordagem de bacia hidrográfica para os pequenos canais, visto que nestes ambientes, um pequeno derrame pode prejudicar todo o sistema envolvido.

A metodologia proposta para os grandes rios baseia-se na Environmental Sensitivity Index (ESI), considerando os aspectos geomorfológicos presentes nos ambientes e nas características de vegetação das áreas inundáveis, com presença de gramíneas ou arbustos. A tabela 5 representa a proposta de classificação de

sensibilidade das regiões estuarinas, lacustres e fluviais, em que o índice de sensibilidade proposto varia de 1, menor sensibilidade, a 10, maior sensibilidade.

Tabela 5: Proposta de classificação de sensibilidade a derrames de óleo em ambientes estuarinos, lacustres e fluviais de Hayes, Michel e Dahlin (1995).

ISA	Estuários	Lagos	Rios (grandes lagos)
1A	Costões rochosos expostos	Paredões rochosos expostos	Bancos rochosos expostos
1B	Paredões artificiais expostos	Estruturas artificiais rígidas expostas	Revestimentos sólidos verticais
2	Plataformas de argila erodidas pelas ondas	Penhascos rochosos com depósitos de tatus, expostos	Bancos de rochas, lajes de leito rochoso
3	Praias de areia fina	Escarpas erodidas em sedimentos inconsolidados	Margens erodidas em sedimentos inconsolidados
4	Praias de areia grossa	Praias de areia	Barras de areia e bancos de baixa declividade
5	Praias mistas de areia e cascalho	Praias mistas de areia e cascalho	Praias mistas de areia e cascalho de baixa declividade
6A	Praia de cascalho	Praia de cascalho	Praia de cascalho de baixa declividade
6B	Enrocamentos	Enrocamentos	Enrocamentos
7	Planícies de maré expostas	Planícies de maré expostas	-
8A	Costões rochosos abrigados	Escarpas abrigadas em rocha, lama ou barro	Escarpas íngremes vegetadas
8B	Estruturas artificiais sólidas abrigadas	Estruturas artificiais sólidas abrigadas	Estruturas artificiais sólidas abrigadas

ISA	Estuários	Lagos	Rios (grandes lagos)
9A	Planícies de maré abrigadas	Bancos de vegetação herbácea abrigados	Bancos de vegetação herbácea
9B	-	Bancos de areia ou lama abrigados	Substrato lamoso (não vegetado)
10A	Pântanos salobros e salgados	-	-
10B	Manguezais	-	-
10C	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)
10D	Pântanos de água doce (vegetação de mata)	Pântanos de água doce (vegetação de mata)	Pântanos de água doce (vegetação de mata)

Elaborado por: Hayes, Michel e Dahlin (1995). Fonte: Costa, 2013.

Hayes, Michel e Dahlin (1995) elaboraram uma metodologia diferente para as bacias hidrográficas, pois consideram que em córregos estreitos e rasos um pequeno derrame pode atingir todo o sistema e, portanto, este ambiente deve ser analisado de forma integrada, e não separando a sensibilidade de cada componente presente.

Foram elaboradas três classes para os pequenos rios, estas baseadas no gradiente e na descarga dos ambientes, na influência da biota no trecho, no tempo de residência do óleo, na mistura do óleo na coluna d'água e no tipo de resposta que o ambiente apresenta ao acidente. Os canais podem mudar de uma classe para outra, dependendo do gradiente que apresentam e da geologia. Também deve ser considerado o caso dos canais intermitentes ou perenes, bem como, reconsiderar a classificação em situações de climas extremos. A presença de pequenos ambientes, como pântanos isolados ou pequenas lagoas precisam ser representados (HAYES, MICHEL e DAHLIN, 1995).

As três classes elaboradas pelos autores são:

Tipo A: apresenta gradiente moderado, canais relativamente retos, presença de corredeiras intermitentes, com barras de areia e cascalho e uma moderada zona

de vegetação ribeirinha. Curto tempo de residência do óleo, poucos locais para contenção e coleta. Razoável mistura do óleo na coluna d'água.

Tipo B: apresenta gradiente relativamente baixo, com canais meandantes, correntes moderadas, barras arenosas nas porções internas das curvas dos meandros, amplas zonas de vegetação ribeirinha. Médio tempo de residência do óleo, vários locais para coletar o óleo, a mistura na coluna d'água é menor se comparada com a anterior.

Tipo C: apresenta alto gradiente, com correntes muito fortes, areias grossas no leito do rio e nos bancos. Curto tempo de residência do óleo, grande mistura do óleo na coluna d'água, presença de muitas corredeiras. Quase não há local para conter e coletar o óleo.

Mendoza-Cantú et al. (2011) elaboraram uma metodologia para a realização do mapeamento dos rios mexicanos Coatzacoalcos e Tonalá, localizados no sudeste do estado de Vera Cruz. Estes autores consideraram variáveis relacionadas aos aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos. A tabela 6 representa as variáveis selecionadas para cada condição e os seus critérios de interpretação.

Tabela 6: Variáveis selecionadas para cada condição e os seus critérios de interpretação.

Nível de vulnerabilidade	Descrição
I – Muito alto	• Baixas planícies acumulativas permanentemente inundadas (áreas alagadas) • Áreas naturais protegidas • Assentamentos humanos até 15 mil habitantes • Corpos d'água
II – Alto	• Mangues • Pântanos fluviais acumulativos e lagos de planícies (áreas alagadas)
III – Médio	• Alta e média floresta perene tropical com vegetação secundária

Nível de vulnerabilidade	Descrição
IV – Baixo	• Planície costeira acumulativa (campo de dunas) • Planície costeira acumulativa (praias de areia) • Agricultura com culturas anuais • Mista
V – Muito baixo	• Pastagens cultivadas e induzidas • Culturas semi perenes e perenes • Culturas de plantação • Agricultura alagada residual

Elaborado por: Mendoza-Cantú et al., 2011. Fonte: Costa, 2013.

A partir destes critérios os autores elaboraram uma escala de vulnerabilidade que varia de 1 a 5, onde 1 é muito vulnerável e 5 menos vulnerável. Também foi realizada uma análise hierárquica ponderada em SIG para a atribuição dos índices, em que o aspecto físico tem peso de 40%, assim como o biótico, e os aspectos socioeconômicos correspondem a 20%.

No Brasil, a primeira metodologia relacionada à sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes fluviais foi desenvolvida por Araújo, Silva e Muehe (2006) para a Petrobras, em conjunto com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), Agência Nacional do Petróleo (ANP), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis (IBAMA), Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Museu Goeldi, Universidade Federal do Pará (UFPA), Universidade Estadual Norte Fluminense (UENF), Tecgraf/Pontifícia Universidade Católica (PUC – Rio) e Alpina Briggs. Esta metodologia, desenvolvida para os rios amazônicos de Manaus e Coari apresenta as seguintes feições fluviais (Tabela 7).

Tabela 7: Feições fluviais amazônicas.

Feições encontradas no canal
1 Margens de rio (grande classe subdividida em feições mais precisas) e ilhas 2 Praias de margens 3 Cachoeiras 4 Barras ou bancos fluviais – regionalmente tem o sentido de bancos de areia, mas são praias formadas no meio do rio, isoladas da margem
Feições encontradas em planícies fluviais
1 Lago/ planície exposta 2 Floresta alagável/ densa 3 Chavascal (densidade florestal menor) 4 Banco de macrófitas herbáceas ou de gramíneas/ planície exposta em função do período, funciona como filtro
Feições de transição entre componentes de canal e de planície fluvial
1 Furos 2 Bocas de lagos

Fonte: Costa, 2013.

A partir das informações das feições fluviais amazônicas e de adaptações da metodologia proposta pelo Ministério do Meio Ambiente, em 2002, para ambientes costeiros, desenvolveu-se um índice de sensibilidade fluvial com variação de 1 a 10 (1 menor sensibilidade e 10 maior), exposto na tabela 8:

Tabela 8: Proposta de índice de sensibilidade ambiental para ambientes fluviais, elaborada pelo MMA.

Index	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
10a	Banco de macrófitas aquáticas
10b	Vegetação alagada (igapós, várzea, chavascal, campo, etc.)

Fonte: Araújo, 2006.

Beaumord e Ferreira (2008) realizaram um mapeamento de sensibilidade ambiental focada em outra realidade brasileira, nos cursos de água da bacia do rio Canhanduba, localizada no município de Itajaí, em Santa Catarina. Neste local foi instalada uma base de distribuição da Petrobras Transporte S/A – TRANSPETRO, de onde se distribui diversos dutos.

A realização do mapeamento e a obtenção dos Índices de Sensibilidade Ambiental basearam-se nas informações da publicação “Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo”, do Ministério do Meio Ambiente do ano de 2002, estas adaptadas para serem utilizadas em feições fluviais.

De acordo com Beaumord e Ferreira (2008):

“Desta forma, a classificação da sensibilidade ambiental dos segmentos foi baseada no conhecimento de características geomorfológicas, dos constituintes das feições marginais, e das características das margens fluviais no que se refere a aspectos bióticos e de uso e ocupação. Foram considerados os fatores, correntes fluviais, profundidade e largura média do trecho, existência de bancos de areia, substrato de fundo, altura média do trecho, declividade da margem; tipo de substrato da margem, tipo de vegetação e fauna associada, intervenções antropogênicas (uso e ocupação).” (BEAUMORD e FERREIRA, 2008, p.64).

Através desses aspectos foi elaborado o Índice de Sensibilidade Ambiental, adaptado do Índice de Sensibilidade do Litoral, proposto pelo Ministério do Meio Ambiente. O Índice de Sensibilidade proposto possui escala de 1 a 10, sendo o índice maior, representativo de um maior grau de sensibilidade. O índice dos cursos de água analisados foi obtido através da aquisição das características geomorfológicas, feições marginais e das características biológicas, sociais e econômicas. O mapeamento de sensibilidade ambiental foi elaborado a partir da montagem de uma base cartográfica em plataforma computacional georreferenciada, sendo esta base integrada a um Sistema de Informações Geográficas – SIG (BEAUMORD e FERREIRA, 2008).

Foram analisados e mapeados quatro trechos da área; os resultados obtidos encontram-se na tabela 9.

Tabela 9: Resultados obtidos para os trechos analisados.

Caract. Físicas do Corpo d'Água	SAO 1	SAO 2	SAO 3	SAO 4
Correntes fluviais	Fraca	Média	Fraca	Fraca
Profundidade Média do Trecho	90 cm	100 cm	41 cm	120 cm
Largura Média do Trecho	3,80 m	3,00 m	3,20 m	3,40
Bancos de Areia	Nenhum	Nenhum	Um banco	Nenhum
Substrato de Fundo	Argiloso	Argiloso	Argiloso	Argiloso
Caract. Físicas das Margens	SAO 1	SAO 2	SAO 3	SAO 4
Altura Média	2,40 m	2,50 m	2,00 m	1,50 m
Declividade da Margem	Alta	Alta	Média	Média
Tipo de Substrato	Argilo-arenoso	Argilo-arenoso	Argilo-arenoso	Argilo-arenoso
Feições Marginais	SAO 1	SAO 2	SAO 3	SAO 4
Vegetação	Mata ciliar degradada e cultivo de arroz	Mata ciliar degradada e cultivo de arroz	Mata ciliar degradada e cultivo de arroz	Mata ciliar degradada e cultivo de arroz
Impactos Antrópicos	Desmatamento devido plantações	Desmatamento devido plantações	Desmatamento devido plantações	Desmatamento devido plantações
Índice de Sensibilidade Ambiental	SAO 1	SAO 2	SAO 3	SAO 4
	7	6	9	6

Fonte: Beaumord e Ferreira, 2008.

Através destes resultados, foi possível inferir algumas características acerca da sensibilidade ambiental em ambientes fluviais.

De acordo com os autores, em caso de derrames nos trechos estudados, devido à baixa energia das correntes fluviais, a remoção natural de óleo seria dificultada; além disso, essa baixa energia gera um substrato de fundo com maior estabilidade, e que, por consequência, abriga uma maior variedade de espécies. O tipo de substrato determina os parâmetros, tais como permeabilidade, mobilidade do sedimento e permanência do óleo. Dessa forma a infiltração do óleo será mais profunda quanto mais grosseira for a granulometria dos sedimentos e quanto maior a esfericidade e uniformidade dos grãos (BEAUMORD e FERREIRA, 2008).

Outro fator importante analisado por Beaumord e Ferreira (2008) diz respeito à inclinação das margens. Nos trechos analisados as margens encontradas eram geralmente altas, fazendo com que as áreas que foram atingidas pelo óleo sejam menores.

A partir do exposto, o presente trabalho utilizou como embasamento os estudos citados anteriormente, e a partir destes foi elaborada a Carta de Sensibilidade das Feições Geomorfológicas da área de estudo, utilizando os parâmetros que melhor se adequaram às características encontradas na região.

5 MATERIAL, MÉTODOS E TÉCNICAS

5.1 Material

Para a realização do trabalho, 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 provenientes do satélite ALOS (Advanced Land Observing Satellite) geradas pelo sensor PRISM (Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping). O satélite ALOS foi lançado em 24 de janeiro de 2006 pela Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), no centro espacial de Tanegashima, no Japão. Entrou na fase operacional e fornecimento de dados ao público em 24 de outubro de 2006. O sistema foi desenvolvido prioritariamente para fomentar pesquisas científicas e aplicadas na área de sensoriamento remoto e prover o Japão e países da Ásia do Pacífico com dados cartográficos que pudessem oferecer subsídios ao estudo de temas ligados ao desenvolvimento sustentável, monitoramento de desastres naturais e recursos naturais (EMBRAPA, 2007). O PRISM é um radiômetro pancromático com resolução espacial de 2,5 metros. Possui três sistemas ópticos independentes, muito importantes na produção de pares estereoscópicos, com capacidade de obter dados no nadir e em visadas laterais de 24°. Os telescópios possuem espelhos e câmeras CCD e obtém cenas de 70 km ou 35 km de acordo com a inclinação do sensor. O PRISM fornece dados com alta acurácia (1 metro) para elaboração de modelos digitais de superfície e de levantamentos topográficos com escala de até 1:25.000. Devido ao caráter não comercial do sistema ALOS, o sensor PRISM pode ser interessante aos países que ainda não possuem levantamentos sistemáticos do relevo, como o caso do Brasil (EMBRAPA, 2007).

Software: Foi utilizado o software ArcGIS 9.3 para a digitalização e vetorização dos dados, tratamento das imagens, identificação e avaliação das feições geomorfológicas e edição final dos mapeamentos.

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

5.2 Métodos

A orientação metodológica da presente pesquisa enquadra-se na abordagem dedutiva, que busca analisar e explicar um caso específico, utilizando-se de premissas conhecidas. De acordo com Cunha (2001, p.35), “a representação cartográfica de qualquer fenômeno constitui-se em um esquema simplificado da realidade, que objetiva facilitar a apreensão do objeto de estudo mapeado”.

Em relação à análise dos atributos geomorfológicos, foram adotados como orientação metodológica os princípios da Teoria Geral dos Sistemas Aplicada à Geografia.

De acordo com Cunha (2001):

“A Teoria Geral dos Sistemas tem sido amplamente utilizada por profissionais dedicados à questão ambiental e seu emprego tem sido analisado como um dos mais produtivos no que se refere aos resultados obtidos. 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” (CUNHA, 2001, p.35).

Os sistemas ambientais apresentam modificações em seu equilíbrio dinâmico a partir do momento em que sofrem alterações em seu fluxo de energia. Os sistemas socioeconômicos atuam diretamente nestas alterações, pois ações antrópicas de ocupação, apropriação e exploração dos recursos naturais alteram a dinâmica dos sistemas ambientais, condicionando as unidades a modificações.

Dentro deste contexto, a área de estudo foi analisada sob o enfoque dos sistemas controlados. De acordo com Chorley e Kennedy (1971, apud CUNHA 2001), os sistemas constituem-se da integração dos sistemas processo-resposta, sistemas em cascata ou em sequência e sistemas morfológicos. Para os autores:

“quando se avaliam os sistemas processo-resposta torna-se comum a constatação da existência de certas variáveis que são controladas por uma inteligência exterior, a qual pode intervir nos sistemas em cascata através da alteração nos fluxos de matéria e energia e nas inter-relações, envolvendo as variáveis morfológicas dos sistemas de processo-resposta” (CHORLEY e KENNEDY, 1971, apud CUNHA, 2001, p.37).

Desta forma, considerando essas questões de caráter teórico-metodológica, foram adotadas técnicas necessárias para a elaboração da Carta Geomorfológica e da Carta de Sensibilidade das Feições Geomorfológicas ao Derrame de Óleo.

5.3 Técnicas

5.3.1 Base Cartográfica

A base cartográfica da área de estudo, necessária para a realização dos demais mapeamentos, foi organizada a partir da coleta de cartas topográficas e dos produtos de sensores remotos (imagens orbitais).

As cartas topográficas utilizadas foram: São Pedro (SF-23-M-III-1) e Piracicaba (SF-23-Y-A-IV-2), em escala 1:25.000, datadas de 1969, obtidas através do site do Instituto Brasileiro de Geografia – IBGE.

5.3.2 Carta Geomorfológica

As cartas geomorfológicas constituem-se em documentos complexos, pois possuem grande quantidade de informações registradas, as quais correspondem a estrutura geológica, cronologia, morfografia e as características morfométricas da área (CUNHA, 2001). Dentro desse contexto, torna-se fundamental a realização de um mapeamento geomorfológico para a elaboração do presente trabalho, pois este auxilia na identificação e entendimento das formas do relevo, bem como suas transformações decorrentes de ações antrópicas e impactos ambientais.

Para a realização do mapeamento geomorfológico, foram utilizadas as imagens orbitais da área obtidas através do satélite ALOS, em específico do sensor PRISM. O mapeamento foi realizado em meio digital, no SIG ArcGIS, sem o auxílio de material estereoscópico. As imagens orbitais operam com quatro bandas inclusas em um único arquivo de imagem, atuando na faixa espectral do verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio, com resolução nas quatro bandas de 2,5 metros. Optou-se pela interpretação a partir da banda 4, considerada a mais indicada para a obtenção de dados de relevo.

As feições foram identificadas tendo por base as orientações de Cunha (2001) adaptadas das propostas de Tricart (1965) e Verstappen e Zuidam (1975) a partir da

seleção de símbolos adequados à representação geomorfológica, considerando os princípios da gestão ambiental.

De acordo com Tricart (1965), as cartas geomorfológicas classificam-se em cartas de pequena escala, cartas que possuem escala menores que 1:50.000; cartas de grande escala, que possuem escala maiores que 1:50.000; e cartas de transição, cuja escala é de 1:50.000. A presente pesquisa utiliza escala de 1:25.000, sendo o mapa inserido na classificação de carta geomorfológica de grande escala.

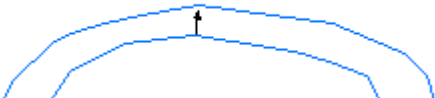
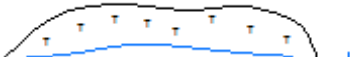
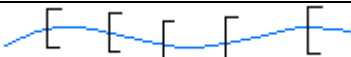
Para a realização da presente pesquisa optou-se por utilizar o trecho adjacente ao Rio Piracicaba mais suscetível a presentes e futuras oscilações do nível de água. Portanto, delimitou-se a área de estudo através da curva de nível correspondente a sessenta metros a partir do Rio Piracicaba. Desta forma, para a realização do mapeamento, considerou-se a faixa de terrenos cobertos pelas três primeiras curvas de nível a partir do curso d'água.

Tricart (1965) afirma que as cartas geomorfológicas detalhadas devem conter as seguintes informações: morfometria, morfografia, morfogênese e cronologia.

A morfometria compreende os atributos geométricos da forma de relevo e são fundamentais na apreensão de sua estrutura morfológica. A morfografia é representada através de símbolos que localizam e especializam as formas de relevo, representando a extensão e os processos que as originaram, bem como, o momento em que as formas se desenvolveram, identificando a morfogênese e a cronologia.

Assim, cada forma identificada na área de estudo foi agrupada segundo sua origem em grandes grupos de modelados, sendo esses: Feições Hidrográficas, Formas de Acumulação e Modelado de Entalhe (tabela 10).

Tabela 10: Simbologia utilizada para a identificação das feições geomorfológicas de origem fluvial do setor de fundo de vale do Rio Piracicaba adaptado de Tricart (1965) e Verstappen e Zuidan (1975)

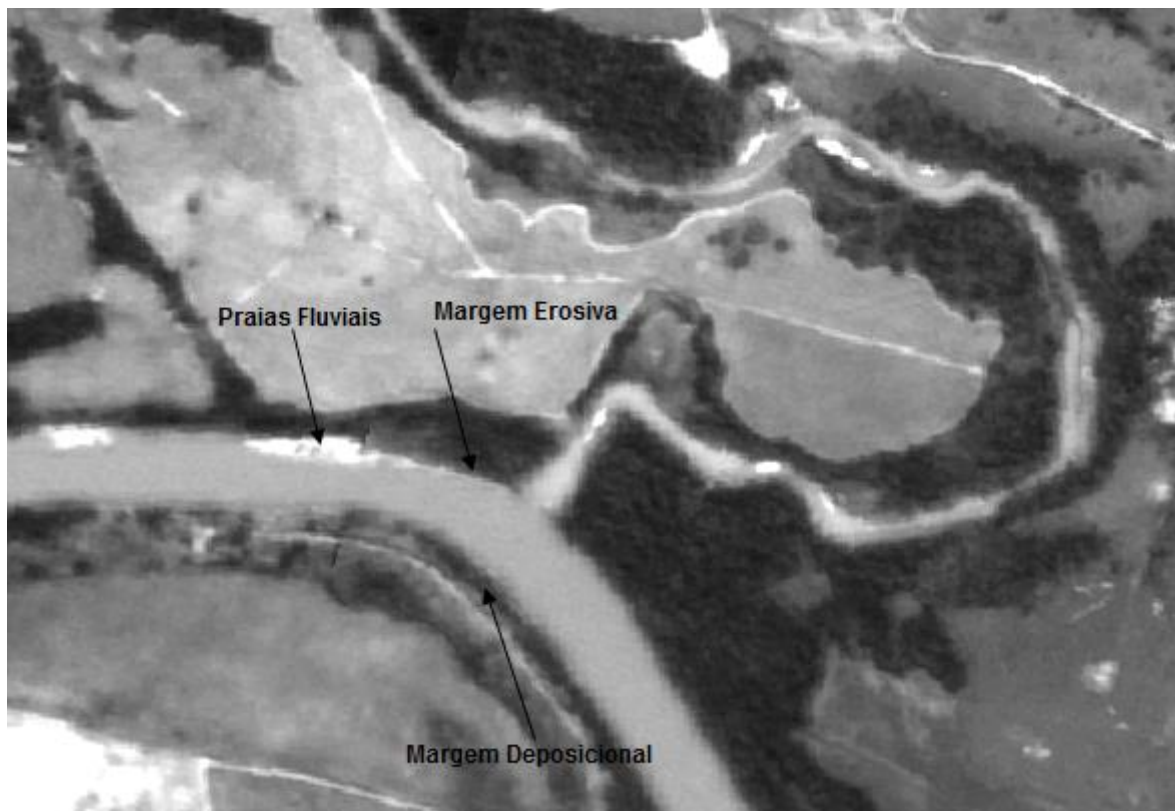
AÇÃO DAS ÁGUAS CORRENTES E FORMAS DE ORIGEM FLUVIAL		
A. Feições Hidrográficas		
	Canal Fluvial	
	Erosão Fluvial Lateral	
	Lago	
B. Formas de Acumulação		
	Depósito Aluvial	
	Dique Aluvial	
	Terraço Fluvial	
	Margem Depositional	
	Praia Fluvial	
C. Modelado de Entalhe		
	Margem Erosiva	
Fundo de Vale	em “V”	
	plano	

Adaptado de Tricart (1965) e Verstappen e Zuidan (1975).

O mapeamento abrangeu as principais feições geomorfológicas de origem fluvial da área, pois a partir da análise destas feições buscou-se avaliar o seu significado em termos de sensibilidade ambiental a derrames de óleo.

As feições mapeadas mais frequentemente na área foram margens erosivas e margens deposicionais. A identificação destas feições foi possível devido à presença de processos de erosão fluvial lateral na área de estudo, que origina margens erosivas, deposicionais e as praias fluviais. As margens deposicionais apresentam vegetação em alguns pontos (figura 6), desta forma nem sempre foi possível observar a presença de manchas brancas que identificam os sedimentos. Entretanto, nota-se na região mais a jusante a estas feições a ocorrência de praias fluviais, identificadas pela presença de manchas brancas na imagem orbital, ocasionadas pela ausência de vegetação, o que facilita a identificação da presença de processos de deposição de sedimentos (figura 6).

Figura 6: Recorte ilustrativo com a presença de processos de erosão fluvial lateral, originando margem erosiva, deposicional e praias fluviais, destacadas pelas setas em preto.



Elaborado pela autora.

As formas de acumulação identificadas na região foram representadas por depósitos aluviais, diques aluviais e terraços fluviais.

Os depósitos aluviais foram identificados na imagem orbital através de diferenciações presentes na textura. A vegetação da área de estudo encontra-se bastante degradada, mantendo-se em alguns pontos apenas um pequeno trecho nas áreas de planície de inundação. A identificação dos depósitos aluviais foi realizada devido à diferenciação da textura da vegetação presente nas planícies de inundação, que apresenta uma textura mais grumosa e uma coloração mais escura, em relação à vegetação das vertentes, que possui textura mais lisa e coloração mais clara (figura 7).

Figura 7: Recorte ilustrativo com a presença de depósito aluvial, identificado pela presença de uma vegetação com textura mais grumosa e coloração mais escura, em comparação com a vegetação da vertente, com textura mais lisa e coloração mais clara.



Elaborado pela autora.

Os depósitos aluviais presentes nas áreas em que não havia vegetação, ou esta era de caráter herbáceo, foram identificados através da presença de diferentes tons de cinza na imagem orbital. Os depósitos aluviais apresentam tons de cinza mais escuro devido à presença de água durante as cheias, desta forma apresentam-se mais escuro que as regiões de vertente (figura 8).

Figura 8: Presença de depósito aluvial com ausência de vegetação, identificado através de diferenciações na tonalidade de cinza, apresentando tons de cinza mais escuro, em comparação com a vertente, que apresenta tons de cinza mais claro.



.Elaborado pela autora.

Os diques fluviais foram identificados através de sua localização, formato e coloração. Estas feições encontram-se às margens dos rios e possuem uma formação estreita e elevada. Na imagem orbital apresentam uma coloração cinza escura (figura 9).

Figura 9: Recorte ilustrativo da presença de um dique fluvial.



Elaborado pela autora.

Nota-se na área de estudo a presença de diques ao lado de depósitos aluviais, portanto pode-se deduzir que a área apresenta diques antigos em alguns pontos, estes foram identificados devido a sua forma e coloração (figura 10).

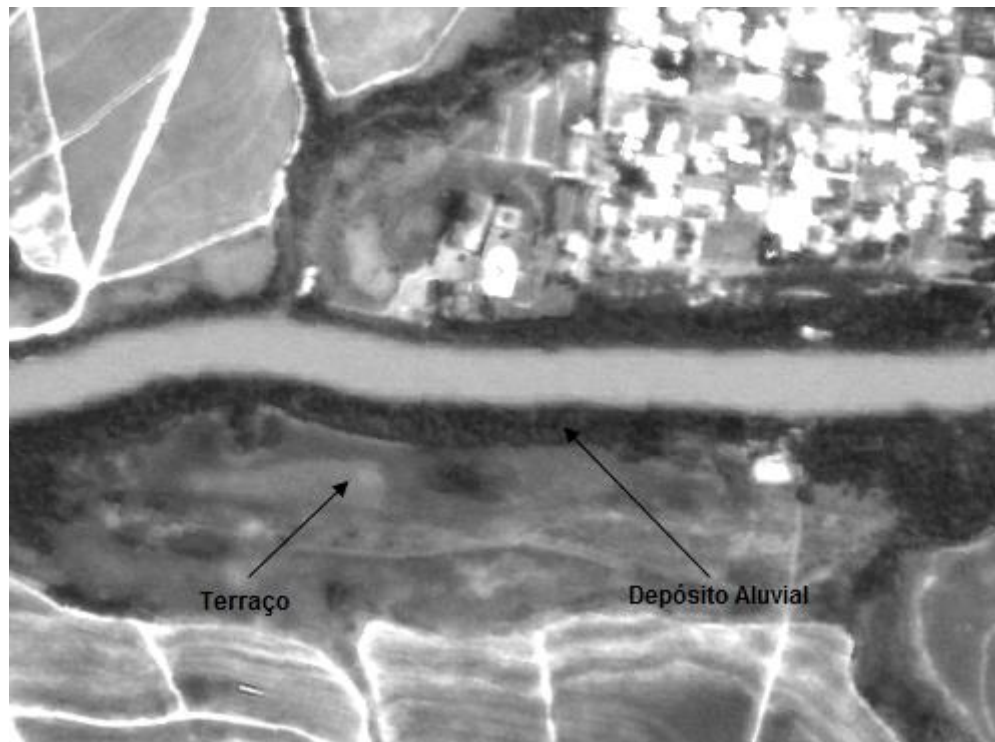
Figura 10: Recorte ilustrativo de um dique fluvial antigo ao lado de um depósito aluvial.



Elaborado pela autora.

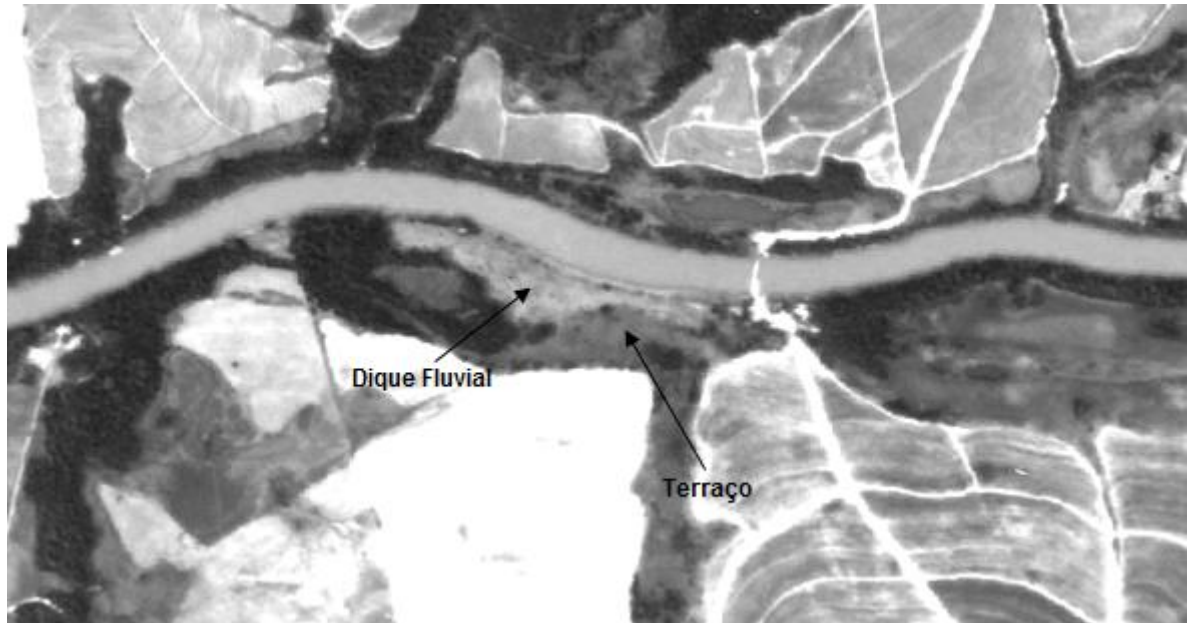
Os terraços fluviais foram identificados na imagem orbital principalmente devido a sua coloração e localização. Os terraços fluviais apresentam-se ao lado dos depósitos fluviais, com cores que variam de cinza médios ao cinza claro (figura 11). Em comparação aos diques aluviais, os terraços apresentam uma coloração de cinza mais escuro e um formato menos estreito e alongado (figura 12).

Figura 11: Recorte ilustrativo do terraço fluvial ao lado de um depósito aluvial.



Elaborado pela autora.

Figura 12: Recorte ilustrativo de um terraço fluvial seguido de um dique aluvial. Destaca-se a diferença de cor e textura entre ambos que possibilitou a sua diferenciação.



Elaborado pela autora.

Deve-se destacar que devido à qualidade da imagem e a ausência de materiais fotointerpretativos, a identificação dos depósitos aluviais das pequenas drenagens foi comprometida. Para tanto, nos locais em que era impossível a identificação dos depósitos aluviais, optou-se por representar as formas dos fundos de vale, pois estes apresentam características relevantes na classificação da sensibilidade ambiental. Os modelados foram identificados como os fundos de vale em “V” e planos. Os fundos de vale em “V” foram identificados em canais que não apresentavam nenhuma vegetação concentrada em suas margens, e na imagem orbital, possuíam em suas margens coloração cinza mais clara (figura 13). Os fundos de vale planos caracterizam-se por apresentar vegetação em suas margens e, na imagem orbital, coloração mais escura em suas margens, em comparação com os fundos de vale em “V” (figura 13).

Figura 13: Recorte ilustrativo da presença de canais com fundo de vale em V e fundo de vale plano.



Elaborado pela autora.

A partir da identificação destas feições foi realizada a vetorização e edição dos dados através do software ArcGIS 9.3. As feições geomorfológicas foram classificadas em pontos, linhas e áreas, e a partir desta classificação criou-se um arquivo vetorial (shapefile) no ArcCatalog para cada elemento representativo do relevo. As representações basearam-se na proposta de Paschoal, Conceição e Cunha (2010) para elaboração de simbologias para mapeamentos geomorfológicos utilizando o ArcGIS 9.3.

Os elementos relacionados às áreas de acumulação de planície e terraço fluvial foram identificados por meio de áreas. As feições como fundos de vale planos e em “V”, margens deposicionais, margens erosivas e praias fluviais foram representadas por vetores configurados como linha. Para a representação da erosão fluvial lateral utilizou-se a linha, pois nessa é possível ocultar a linha e trabalhar apenas com a sua finalização, que pode ter o símbolo modificado de acordo com a

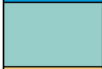
sua utilização. Esta alternativa mostrou-se bastante pertinente, pois há símbolos que necessitam acompanhar a direção em que os processos ocorrem sobre o relevo e não a direção Sul do mapa, o que ocorre se utilizado uma feição “ponto”, que apresenta todos os símbolos dispostos na mesma direção (PASCHOAL, CONCEIÇÃO e CUNHA, p.6, 2010).

5.3.3 Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo das Feições Geomorfológicas

A partir da elaboração do mapeamento geomorfológico da área de estudo foi construída a Carta de Sensibilidade das Feições Geomorfológicas ao Derrame de Óleo da região. Para a realização deste mapeamento também foram utilizadas as imagens orbitais da área já citadas e o mapa geomorfológico, sendo a identificação da sensibilidade igualmente realizada no ArcGIS.

A classificação do índice de sensibilidade ambiental e a construção da legenda basearam-se nas orientações de Araújo (2006), Hayes, Michel e Montello (1997) e Hayes, Michel e Dahlin (1995). Foram identificadas áreas cuja sensibilidade ambiental variam de 1, representando a menor sensibilidade, a 10, representando a maior sensibilidade (tabela 9).

Tabela 11: Legenda utilizada para a representação das áreas sensíveis ao óleo.

Índice de Sensibilidade ao Óleo	
	1
	2
	5
	9a
	9b
	9e
	10a
	10b

Adaptada dos estudos de Araújo (2006), Hayes, Michel e Montello (1997) e Hayes, Michel e Dahlin (1995).

As áreas identificadas e mapeadas na região, e seus respectivos índices de sensibilidade (ISA) foram:

Margens construídas – ISA 1

Soleiras fluviais – ISA 2

Praias fluviais – ISA 5

Diques fluviais seguidos de planícies aluviais – ISA 9a

Diques fluviais seguidos de terraços ou vertentes – ISA 9b

Confluência com coalescência de planícies fluviais – ISA 9e

Depósitos aluviais com vegetação arbórea e arbustiva – ISA 10a

Depósitos aluviais com vegetação herbácea ou ausente – ISA 10b

De acordo com Araújo (2006) as margens construídas classificam-se com o menor índice de sensibilidade, pois se constituem em estruturas artificiais, não apresentando dificuldades na questão de limpeza do óleo.

Com base em Costa (2013), as soleiras fluviais apresentam índice menor, classificando-se como três, pois são ambientes em constante exposição à ação do

hidrodinamismo, sendo incapazes de acumular óleo de forma significativa, facilitando a limpeza desse ambiente.

As praias fluviais classificam-se com índice 5 por apresentarem pequena extensão e maior facilidade de limpeza (ARAÚJO, 2006) se comparada a outros ambientes que retém água.

Os diques fluviais se apresentam em duas formas, seguidos por planícies aluviais (ISA 9a) e seguidos por terraços ou vertentes (ISA 9b). Estas feições apresentam índice de sensibilidade 9, pois apresentam uma extensão maior e recebem constantes depósitos de sedimentos durante os períodos de cheias.

As confluências com coalescências entre as planícies aluviais também apresentam índice 9, pois se o canal se dividir em uma série de canais menores, há uma multiplicidade de direções em que o petróleo pode fluir e a probabilidade de contenção e de recuperação é dificultada (HAYES, MICHEL e MONTELLO, 1997).

Por fim, os depósitos aluviais foram classificados com índice de sensibilidade maior, dividindo-se em depósitos aluviais com vegetação herbácea ou ausente (ISA 10b) e depósitos aluviais com vegetação arbustiva e arbórea (ISA 10a). Os depósitos aluviais são constantemente alimentados por sedimentos, bem como apresentam diferentes tipos de substratos que determinam a probabilidade de permanência do óleo e abrigam uma maior variedade de espécies (BEAUMORD e FERREIRA, 2008).

A vetorização e edição dos dados também foi realizada no software ArcGIS 9.3. O índice de sensibilidade ambiental foi classificado em pontos e linhas, e a partir desta classificação criou-se um vetor no ArcCatalog para cada índice de sensibilidade ambiental.

Os elementos relacionados a confluências com coalescência de planícies fluviais foram identificados por meio de pontos cujas cores representa a sua sensibilidade. Os demais elementos foram representados por feições configuradas como áreas.

Ressalva-se que, devido as suas dimensões, o mapa geomorfológico e a carta de sensibilidade ambiental ao óleo completos da área, encontram-se disponíveis em CD, como apêndice, no final do referente trabalho.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trecho mapeado apresenta uma complexa dinâmica morfohidrográfica, com planícies aluviais bem desenvolvidas, com presença de canais fluviais meandrantos, alternando margens abruptas, sujeitas a intensas atividades erosivas, marcadas por uma maior energia cinética da água, e margens de topografia mais suave, marcadas por uma menor energia cinética da água.

A evolução do sistema de meandros do curso originou diversas feições deposicionais ao longo do trecho, como extensos depósitos aluviais e praias fluviais. Notou-se a presença de inúmeros canais fluviais conectados ao canal principal, os quais contribuem para o acúmulo de sedimentos devido a suas ações. Há ainda presença de diques fluviais localizados na margem do canal principal, terraços fluviais e soleiras fluviais em alguns poucos pontos da área de estudo.

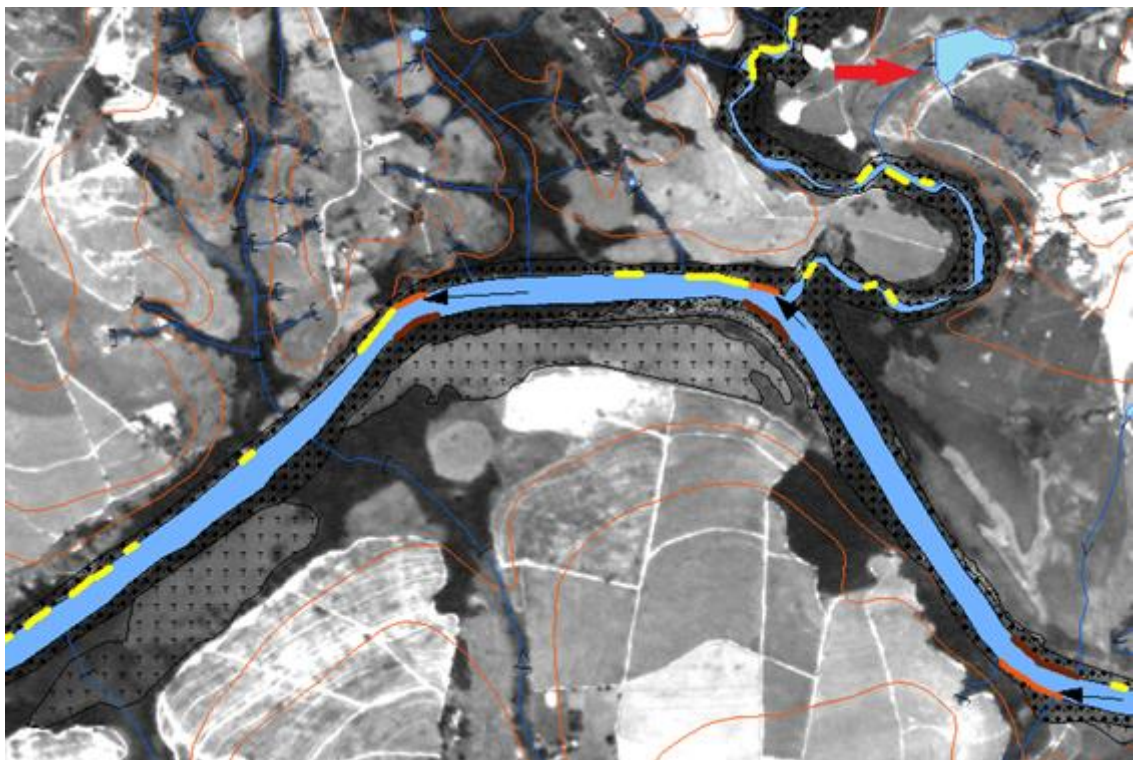
A partir da análise, foi possível observar a presença de concentradas áreas urbanas na região, responsáveis por alterações na dinâmica natural das características morfológicas do trecho. A área de estudo é marcada por uma notória mancha urbana em sua porção leste, representada pela cidade de Piracicaba, bem como pela presença de regiões de concentração urbana ao longo do curso, representada pelo distrito de Artemis e propriedades destinadas a lazer e veraneio. Notou-se também a presença de ocupação agrícola em diversos pontos do trecho analisado, obras de engenharia próximas às margens do curso e áreas com ausência de cobertura vegetal. A vegetação presente na área concentra-se nas planícies de inundação, sendo peculiar e típica destas feições.

Os dados obtidos demonstram uma região que apresenta uma especial vulnerabilidade dos ecossistemas, pois, devido à região apresentar amplas planícies, a dimensão atingida pelo óleo será maior. Além disso, devido à presença de depósitos aluviais distribuídos pela margem de todo o canal, estes possibilitam uma intensa miscigenação e incorporação do óleo. A presença de inúmeros canais afluentes do canal principal também representa um alto grau de vulnerabilidade, pois permite uma multiplicidade de direções em que o óleo possa fluir, dificultando os processos de contenção, limpeza e recuperação.

A partir destas considerações, optou-se por selecionar setores significativos para fins de ilustração e realização de uma análise mais específica das características geomorfológicas e suas possíveis respostas a acidentes envolvendo derrames de óleo.

No primeiro setor, localizado no extremo oeste da área de pesquisa (figura 14), observa-se a presença de processos erosivos nas margens côncavas e aggradação nas margens convexas, originam margens erosivas e deposicionais. Há também a presença de um pequeno barramento, ressaltado pela seta em vermelho. A tabela 8 apresenta a legenda com o significado dos símbolos que constam neste setor.

Figura 14: Recorte do mapa geomorfológico da área de estudo, localizado no extremo oeste da área.



Elaborado pela autora.

Há presença de estreitos depósitos aluviais nas margens do canal, provenientes da deposição de materiais da carga do leito. Nota-se na margem direita do canal uma maior declividade, marcada por colinas médias (Figura 3), em comparação com a margem esquerda do rio, marcada por colinas amplas (Figura 3).

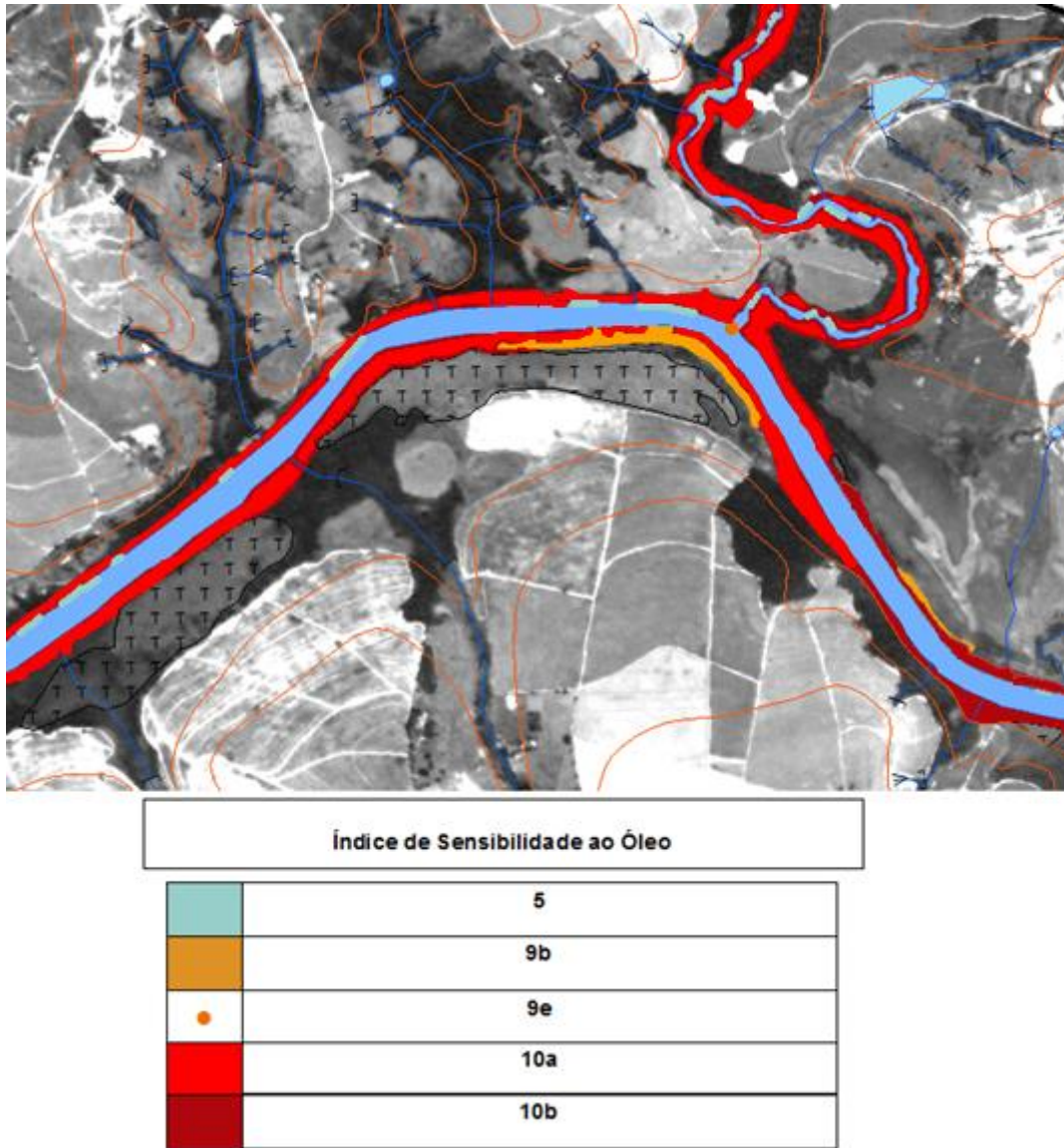
Neste setor tem-se uma maior energia cinética das águas, responsável pela presença de processos de erosão fluvial lateral das margens côncavas, originando margens erosivas (destacadas em alaranjado) e aggradação nas margens convexas, gerando margens deposicionais (destacadas em marrom) e vastos depósitos aluviais. Ademais, a contínua deposição de sedimentos arenosos impossibilita, em

alguns trechos, junto ao rio, a estabilização de uma flora permanente, originando as praias fluviais (destacadas em amarelo). Na margem esquerda, devido à presença de um declive menor, ocorre a diminuição da energia cinética das águas e há a presença de um dique fluvial.

Ainda neste trecho destaca-se a presença de terraços fluviais que representam antigas planícies de inundação que foram abandonadas e surgem como patamares aplainados, de largura variada, limitados por uma ruptura de declive em direção ao curso d'água, e inúmeros canais fluviais que dissecam as vertentes e conectam-se ao rio principal. Neste setor ainda verifica-se a presença de um canal fluvial na margem direita do rio, mais a montante do canal principal, marcado por diversos depósitos aluviais e praias fluviais em seu curso, estes possivelmente decorrentes da diminuição da energia cinética das águas ocasionada pela construção de um pequeno represamento mais a jusante do canal (destacado pela seta em vermelho). De acordo com Beaumord e Ferreira (2003), a baixa energia das correntes fluviais dificulta a remoção natural de óleo; além disso essa baixa energia gera um substrato de fundo com maior estabilidade, e que, por consequência, abriga uma maior variedade de espécies, apresentando assim uma sensibilidade maior.

Em relação à sensibilidade ambiental ao óleo na região, pode-se deduzir que ambas as margens classificam-se com índice de máxima sensibilidade ou 10 (figura 15) devido à presença de amplos depósitos aluviais em toda a extensão das mesmas. Os depósitos aluviais são regiões que são constantemente alimentadas por deposições de sedimento, estes bancos arenosos, numa situação de derramamento de óleo e derivados, são propícios à adesão aos sedimentos saturados em água. A limpeza tende a transferir o óleo para camadas mais profundas e ter sedimentos novos recobrando os contaminados com óleo, dificultando os processos de limpeza. Além disso, devido ao baixo hidrodinamismo destas regiões a limpeza natural não será realizada de forma eficiente. De acordo com Mendoza-Cantú et al. (2011), quanto maior a permeabilidade do solo, mais profunda será a penetração do óleo e maior será a sua persistência, sendo mais difícil a sua limpeza e reparação. Destaca-se também que os depósitos aluviais quando apresentam vegetação também possuem alta sensibilidade, pois o óleo pode aderir-se facilmente, dificultando os procedimentos de limpeza (WIECZOREK, 2005 apud COSTA, 2013).

Figura 15: Trecho localizado no extremo oeste da área de pesquisa com a respectiva legenda indicativa das feições sensíveis.



Elaborado pela autora.

Há no setor pequenas faixas de praias fluviais, que classificam-se com um índice inferior, equivalente a 5, em decorrência de sua pequena extensão e maior facilidade de limpeza. (WIECZOREK, 2005 apud COSTA, 2013)

Ainda neste setor é possível observar a presença de uma confluência com coalescência de planícies aluviais. De acordo com as considerações de Hayes, Michel e Montello (1997) as regiões marcadas por estas feições foram classificadas com índice 9 (figura 17, marcada com um ponto em alaranjado), pois em eventuais

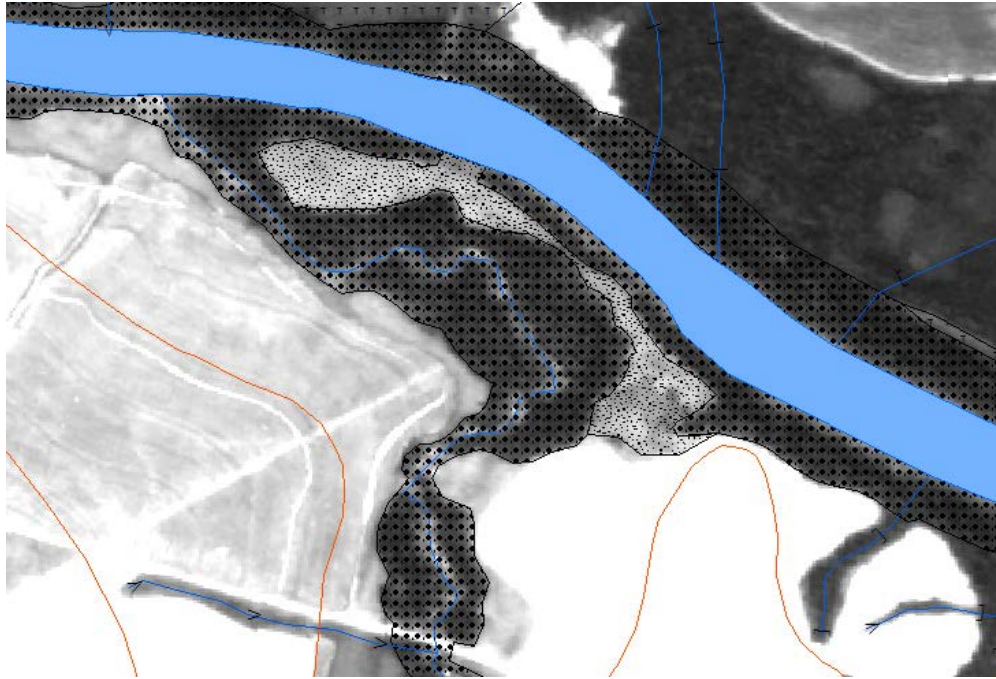
acidentes envolvendo derrames de óleo, há risco de uma maior extensão ser atingida, bem como, atingir os outros canais ligados ao rio principal.

Uma condição evidenciada neste setor é a presença de depósitos aluviais com vegetação herbácea, localizados mais a montante do curso, nas margens direita e esquerda do rio (figura 17). As áreas com vegetação herbácea são responsáveis por uma menor retenção de óleo se comparadas às áreas de vegetação arbórea e arbustiva, possuindo sensibilidade menor (10b). As áreas com vegetação arbórea e arbustiva também apresentam uma maior dificuldade nos procedimentos de limpeza, podendo aumentar o tempo de permanência do óleo (HAYES, MICHEL e MONTELLO, 1997).

Ainda neste setor destaca-se a presença de um dique fluvial seguido por terraço. Esta feição classifica-se com sensibilidade ambiental 9b, pois apresenta sensibilidade menor em comparação aos diques fluviais seguidos de planícies aluviais. De acordo com Suguiu e Bigarella (1990), os diques caracterizam-se como aglomerações verticais dos depósitos de transbordamento, constituídos por sedimentos provenientes da carga suspensa mais grosseira dos rios. O processo de deposição dos diques ocorre com o transbordamento do canal sobre os bancos, e após esse, a velocidade da corrente diminui, dificultando o transporte dos sedimentos mais grosseiros que são depositados próximos aos bancos e os sedimentos mais finos, que são depositados próximos às bacias de inundação (SUGUIU e BIGARELLA, 1990). Em caso de derrames de óleo nestas regiões podem ocorrer deposição e penetração do óleo junto aos sedimentos, dificultando os procedimentos de limpeza.

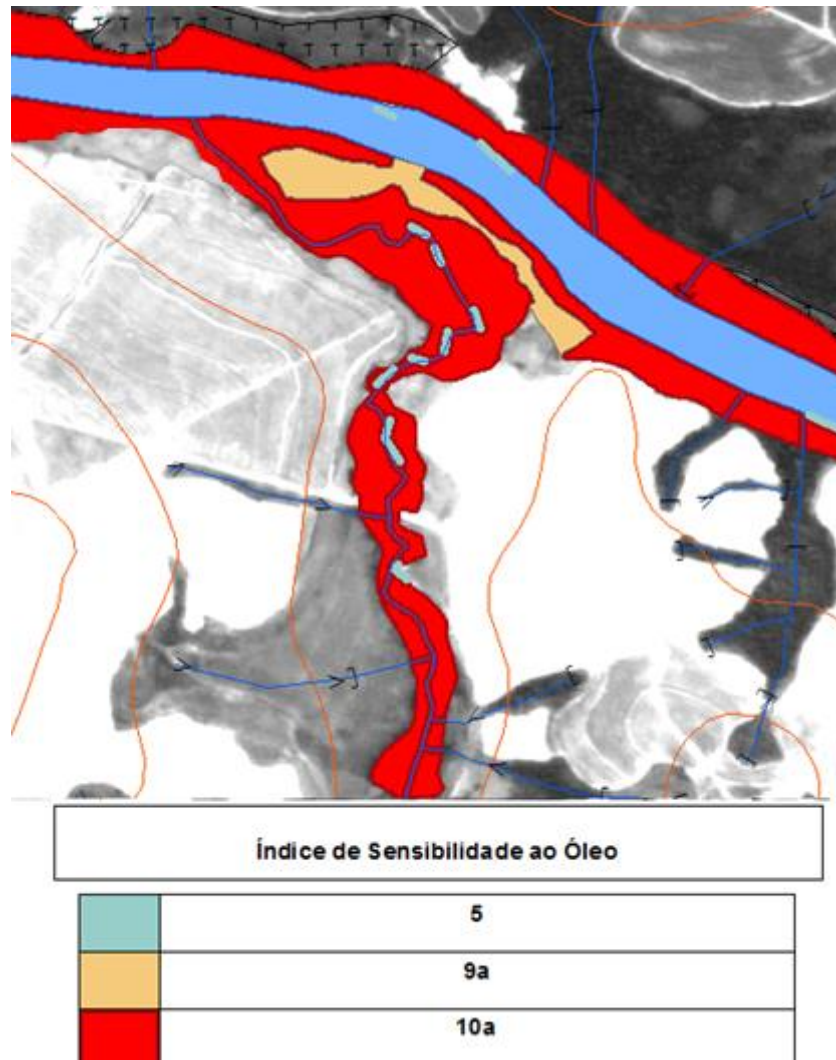
A figura 16 ilustra a presença de um dique fluvial seguido de planície aluvial e a figura 17 ilustra o mesmo trecho e o seu respectivo índice de sensibilidade ambiental. A tabela 10 apresenta a legenda com o significado dos símbolos que constam nessa figura

Figura 16: Trecho do mapeamento geomorfológico com a presença de um dique fluvial seguido de planície aluvial, cuja sensibilidade corresponde a 9a.



Elaborado pela autora.

Figura 17: Trecho do mapeamento de sensibilidade ambiental com a presença de um dique fluvial seguido de planície aluvial, cuja sensibilidade corresponde a 9a.

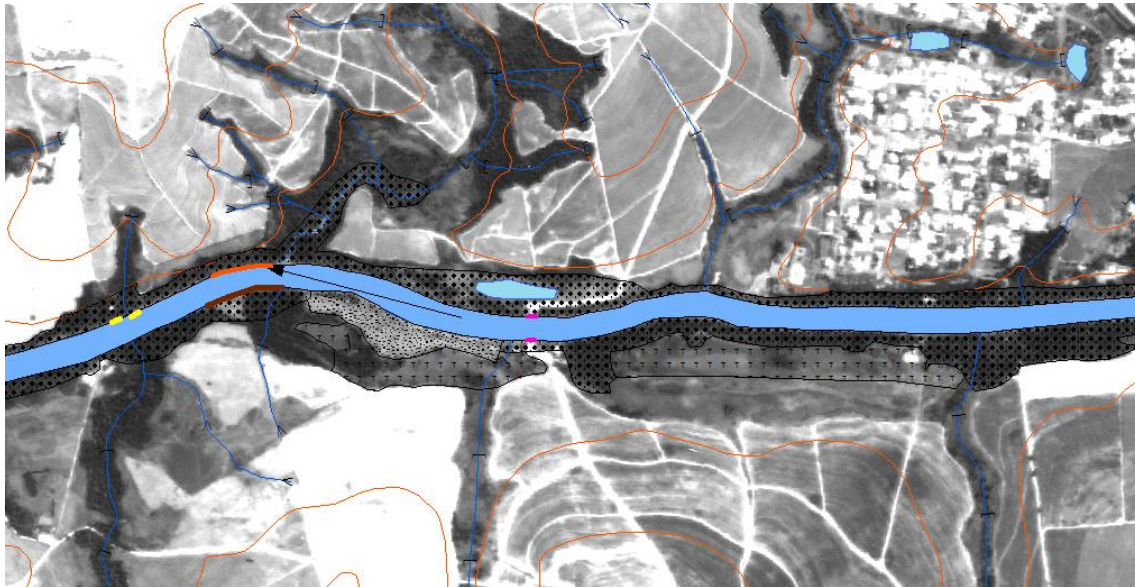


Elaborado pela autora.

Ressalva-se que esta classe ocorre em outros trechos mapeados, além deste ilustrado pelo recorte.

No segundo setor observa-se um trecho do canal fluvial marcado pela presença de extensos depósitos aluviais em ambas as margens do rio, com a presença de um pequeno lago em sua margem direita. Nota-se que, devido a menor declividade da margem esquerda do canal, ocorrem alguns terraços fluviais e um extenso dique fluvial. Observa-se, na margem direita, mais a jusante do canal, a ocorrência de processos de erosão fluvial lateral, e na sequência registra-se o surgimento de praias fluviais.

Figura 18: Trecho do mapeamento geomorfológico com presença de área urbana.

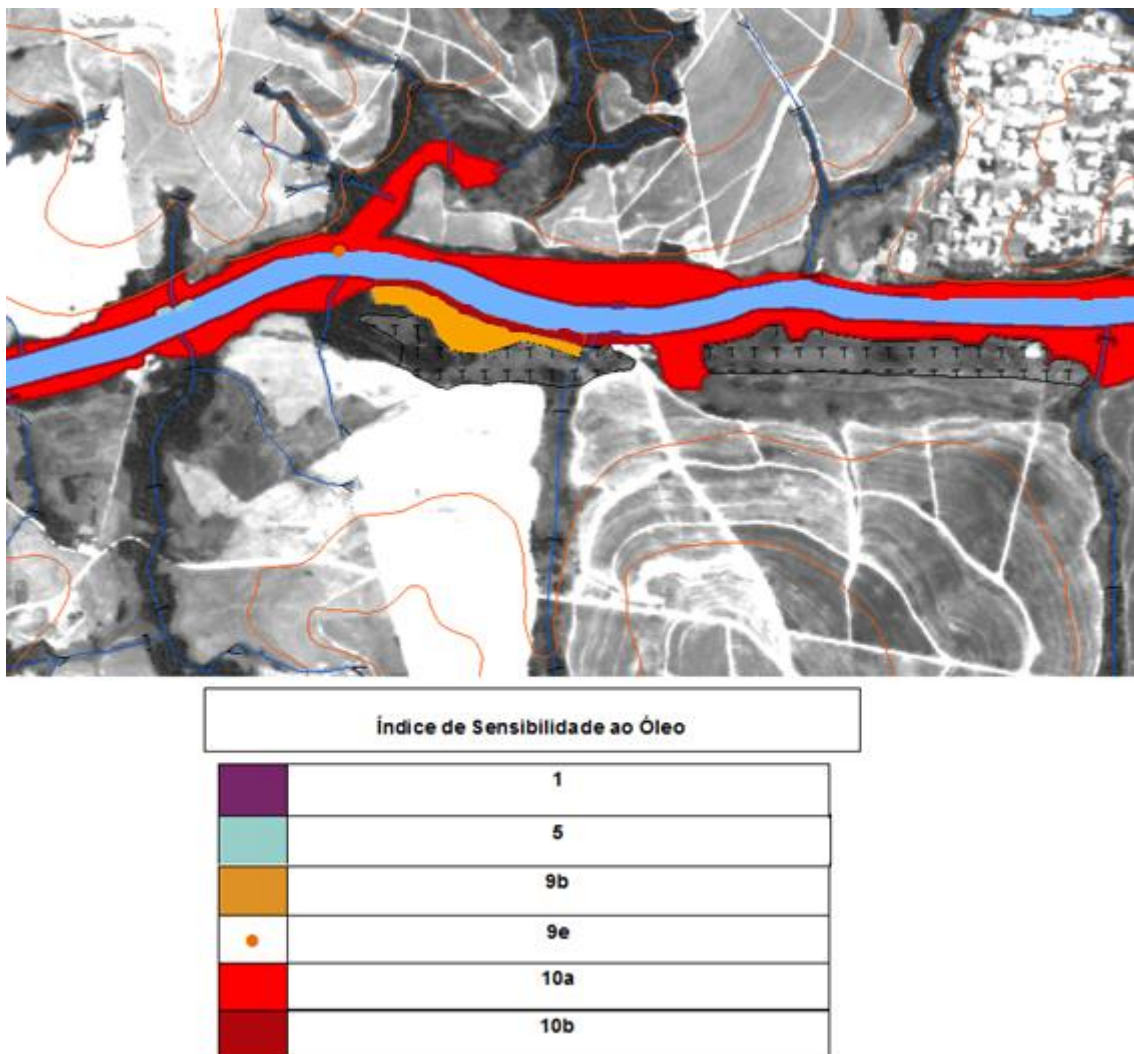


Elaborado pela autora.

Neste setor apresenta-se o início de uma ocupação urbana mais concentrada na área de estudo, com a presença de uma ponte, destacada com um traço em rosa (figura 18).

A sensibilidade ambiental da área apresenta índices elevados (Figura 19). Os depósitos aluviais, tanto com vegetação herbácea como com vegetação arbustiva e arbórea, apresentam índice 10, sendo a arbustiva 10a e a herbácea 10b; a confluência com coalescência de planícies fluviais apresenta índice 9; o dique fluvial seguido de um terraço apresenta índice 9; as praias fluviais classificam-se com índice 5 e a ponte apresenta índice 1. De acordo com Araújo (2006) a ponte apresenta índice de sensibilidade menor, pois dificilmente ocorrerá um acúmulo neste tipo de feição, pois se constitui em uma estrutura de concreto que não armazenaria óleo, sendo facilmente lavada por jatos de água, não apresentando dificuldades em processos de limpeza. A Figura 19 representa a área e seus respectivos índices de sensibilidade ambiental.

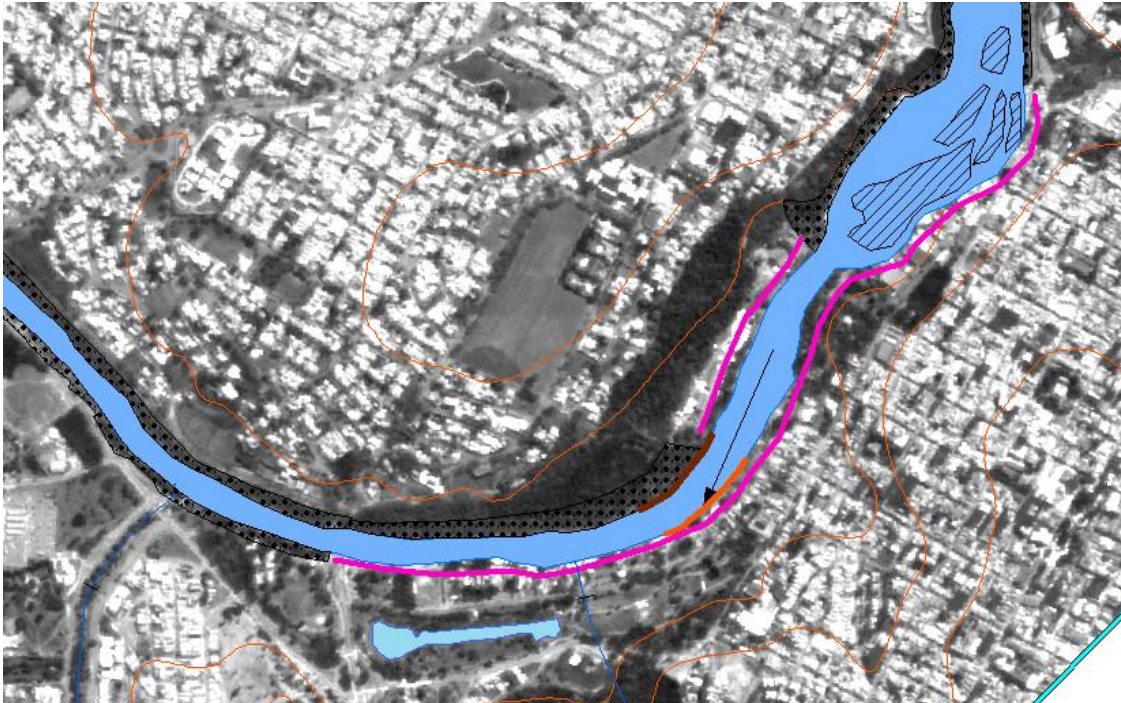
Figura 19: Trecho do mapeamento de sensibilidade ambiental ao óleo.



Elaborado pela autora.

No terceiro setor nota-se uma ampla concentração urbana, característica da cidade de Piracicaba. Ocorre a presença de estreitos depósitos aluviais, contudo há presença de áreas em que ocorre a interrupção destes depósitos, com a presença de área urbana e ausência de vegetação nativa típica. As áreas urbanas que se estendem às margens do canal apresentam margens construídas, com estruturas artificiais, principalmente paredões concretados.

Figura 20: Trecho do mapeamento geomorfológico ilustrativo da concentração urbana da cidade de Piracicaba e a presença de soleiras fluviais.

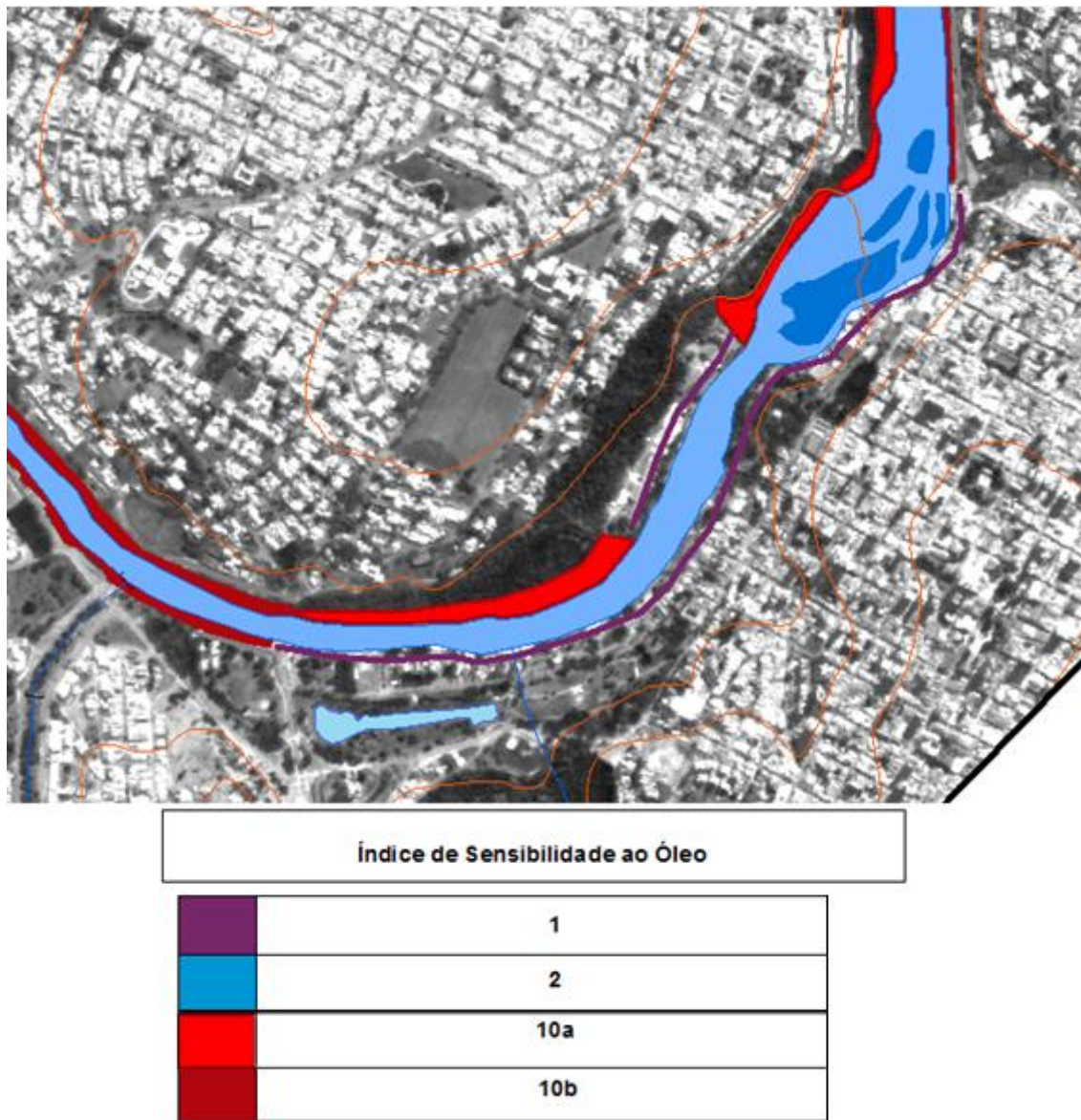


Elaborado pela autora.

Outra feição evidente no recorte é a presença de soleiras fluviais mais a montante do canal. De acordo com Guerra e Cunha (2009), a soleira classifica-se como uma barra de rocha dura que funciona como nível de base num ciclo de erosão; estas feições são muito importantes nos leitos fluviais, pois, por servirem de nível de base, comandam a erosão. A presença de soleiras gera um sistema lótico, com presença de fortes correntezas.

Em termos de sensibilidade ambiental, a região referida apresenta-se com um índice de sensibilidade ambiental menor, excetuando os depósitos aluviais presentes (figura 21). As margens construídas classificam-se com índice 1 de sensibilidade, pois se constituem em estruturas artificiais, não apresentando dificuldades na hora da limpeza do óleo. As soleiras fluviais classificam-se com índice de sensibilidade 2, pois a persistência do contaminante é normalmente de curto prazo. Os óleos leves têm tendência a ser removidos rapidamente pela ação das águas e evaporação (WIECZOREK, 2005 apud COSTA, 2013).

Figura 21: Trecho do mapa de sensibilidade ambiental com a respectiva legenda.



Elaborado pela autora.

De maneira geral, a área escolhida para a realização deste estudo apresenta um alto índice de sensibilidade ambiental ao óleo, pois os processos geomorfológicos analisados se repetem ao longo de todo o trecho.

A região de estudo encontra-se na bacia do Piracicaba e, portanto, de acordo com Hayes, Michel e Dahlin (1995), deve ser analisada de forma integrada, não separando a sensibilidade de cada componente presente. A região de estudo pode

ser classificada em duas classes elaboradas pelos autores para os pequenos rios, o tipo A, devido à presença de um gradiente moderado, presença de barras de areia e cascalho e uma moderada zona de vegetação ribeirinha; e o tipo B, pois apresenta canais meandantes, correntes moderadas e barras arenosas nas porções internas das curvas dos meandros.

Portanto, devido à complexidade da morfografia deste setor faz-se necessário a constituição de políticas de preservação ambiental na área no que diz respeito a acidentes envolvendo derrames de óleo.

Ressalva-se que, devido às suas dimensões, o mapa geomorfológico juntamente com o mapa de sensibilidade ambiental ao óleo, encontram-se disponíveis em CD, como apêndice, no final do presente trabalho.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi proposta a avaliação da sensibilidade da dinâmica fluvial ao derrame de óleo através da identificação e mapeamento das feições geomorfológicas de origem fluvial do baixo curso do Rio Piracicaba. Tomando-se como referencial os objetivos específicos propostos para trabalho, conclui-se que todos foram alcançados e no que diz respeito à forma como os dados obtidos foram analisados, buscou-se seguir a abordagem dedutiva e os princípios da Teoria Geral dos Sistemas Aplicada à Geografia.

A realização de um mapeamento geomorfológico detalhado da área permitiu a avaliação da sensibilidade ambiental ao óleo das feições geomorfológicas encontradas. A utilização de produtos de sensores remotos de alta resolução foi de grande importância, pois permitiu uma análise detalhada das feições presentes.

A utilização das publicações internacionais a respeito de sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes fluviais foi adequada para a realização desta pesquisa e identificação dos índices de sensibilidade ambiental da região, embora tenha sido necessária uma adaptação para a área de análise.

A identificação e classificação das feições geomorfológicas realizadas por meio digital visa colaborar com estudos futuros relacionados à avaliação da sensibilidade da dinâmica fluvial aos derrames de óleo, facilitando a elaboração das Cartas SAO.

A utilização do software ArcGIS 9.3 se mostrou bastante eficaz na elaboração do mapa geomorfológico e do mapa de sensibilidade, pois permitiu a criação de

simbologias que representam adequadamente as feições presentes. O uso deste software também representa a possibilidade da expansão do uso e elaboração destes mapas, visto que as simbologias podem ser facilmente utilizadas e novas simbologias podem ser criadas para representar diversas feições atreladas ao relevo, bem como representar os índices de sensibilidade ambiental ao óleo destas feições.

De maneira geral, a área de estudo apresenta um alto índice de sensibilidade das feições geomorfológicas a derrames de óleo, devido à presença, em grande parte de sua extensão, de depósitos aluviais, diques aluviais e terraços fluviais. Destaca-se ainda a presença de diversos canais fluviais afluentes do canal principal, o que também representa um alto índice de sensibilidade. As regiões que apresentam os menores índices são representadas pelas áreas próximas às regiões urbanas, marcadas por margens construídas com a presença de paredões concretados e pela presença de uma soleira fluvial.

Portanto, a partir do exposto, pode-se afirmar que a área do presente estudo apresenta diversas regiões que devem ser priorizadas em caso de acidentes envolvendo derrames de óleo, e poucas áreas que podem ser utilizadas como áreas de sacrifício, caracterizadas pelos locais que apresentam baixos índices de sensibilidade.

Por fim, a realização do mapeamento da sensibilidade a derrames de óleo a partir de parâmetros geomorfológicos constitui-se em uma importante ferramenta preventiva, bem como, contribui para o desenvolvimento e produção de cartas de sensibilidade ambiental ao óleo. Essas cartas são imprescindíveis para o desenvolvimento de procedimentos para conter derrames de óleo em caso de acidentes. Essa pesquisa visa também contribuir para estudos futuros, apresentando métodos que facilitem a identificação das feições sensíveis ao óleo, elaboração e análise de Cartas SAO, visto que, no Brasil, pesquisas sobre sensibilidade ambiental a derrames de óleo em ambientes fluviais são pouco abordadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, C. A. G. **Mapeamento de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo**: Estudo de Caso para Icapuí, Ceará, 2003, 95 f. Tese (Mestrado em Política e Gestão Ambiental), Universidade de Brasília. Centro de Desenvolvimento Sustentável, 2003.

ALMEIDA, F. F. M. de. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. São Paulo: Universidade de São Paulo: Instituto de Geografia, 1974. 99p

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2011**.

Disponível em:

<<http://www.anp.gov.br/?pg=58071&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1321724616137>>. Acesso em 10 jun. 2012.

ARAUJO, S. I. **Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo**: Ambientes costeiros, estuarinos e fluviais. Rio de Janeiro: Petrobras, 2006. 166p.

ARAUJO, S. I.; MUEHE, D. C. E. H.; 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.

ARGENTO, M. S. F. "Mapeamento Geomorfológico". In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 9 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. (p. 365-392).

AYOADE, J. O. **Introdução a Climatologia dos Trópicos**. São Paulo: Difel, 1986.

BEAUMORD, A. C.; FERREIRA, M. F. **Mapeamento da sensibilidade ambiental à derrames de óleo nos cursos de água da bacia do rio Canhanduba, Itajaí, SC**. Santa Catarina: UNIVALI, Universidade do Vale do Itajaí, 2008.

BRAUN, O. P. C.; OLIVEIRA, W. J. **Mapas de sensibilidade ambiental de faixas de dutos terrestres**. In: Seminário de Atendimento a Emergências em Nível Regional – Região São Paulo e Centro Oeste, São Paulo, 2003.

CABRAL, J. B. P. **Utilização de técnicas de segmentação e correlação de spearman em imagens TM para o estudo da concentração de sedimentos em suspensão no Reservatório de Barra Bonita – São Paulo – Brasil**. Jataí, 2003. Disponível em: <http://geofocus.rediris.es/docPDF/Articulo13_2003.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2012.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo:Ed. Contexto. 1991. 147 p. (Coleção Caminhos da Geografia).

CÔRREA, C. V. S. **Alterações morfohidrográficas do setor de fundo de vale do rio Piracicaba sobre influência do reservatório de Barra Bonita (SP)**. 2010 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ecologia) – Instituto de Biociências, Rio Claro, 2010.

COSTA, D. M. **Estabelecimento de um índice de sensibilidade ambiental ao óleo em ambientes fluviais, com o suporte da ferramenta Morph**. 2013. Dissertação de Mestrado em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

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.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412p

EMBRAPA. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**, 2007. Disponível em: <<http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/alos.htm>>. Acesso em: 17 de ago de 2013

FERRAZ, F. F. B.; MORTATTI, J. **Avaliação da relação entre distribuição espacial da precipitação e os componentes do escoamento em bacia tropical de meso escala**. 2002. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/Geousp/Geousp13/Geousp13_Ferraz_Mortatti.htm>. Acesso em: 16 ago. 2012.

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

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>>.

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/>>.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**, Campinas: IAC, 1999.

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, 1981a. 2v.

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

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.

LANA, P. C; NOERNBERG, M. A **A sensibilidade de Manguezais e Marismas a Impactos por Óleo: Fato ou Mito? Uma ferramenta para avaliação da vulnerabilidade de sistemas costeiros a derrames de óleo**. Geografares. Vitória, 2002.

MARIANO, J. B. **Impactos Ambientais do Refino de Petróleo**. 2001, 216 f. Tese (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001

MENDOZA-CANTÚ et al. Identification of environmentally vulnerable areas of priority of prevention and management of pipeline crude oil spills. **Journal of Environmental Management**. v. 92, p.1706-1713, 2011

METRI, P. **Geopolítica do Petróleo: História e Quadro atual da Indústria do Petróleo no Brasil**. Trabalho não publicado, 2012.

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

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derrames de Óleo**, 2002.
NETO, N.C. **Vulnerabilidade Geológica da Planície Costeira de Presidente Kennedy, ES**. 2010. 98f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Oceanografia e Ecologia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

PASCHOAL, L. G.; CONCEIÇÃO, F. T.; CUNHA, C. M. L. 2010. **Utilização do ArcGis 9.3 na elaboração de simbologias para mapeamentos geomorfológicos: Uma aplicação na área do Complexo Argileiro de Santa Gertrudes/SP**. In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia. Recife, p.1-13, 2010

PAVLOPOULOS, K.; EVELPIDOU, N.; VASSILOPOULOS, A. **Mapping Geomorphological Environments**. Berlin: Springer, 2009.

PRADO, R.B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. 2004. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – USP, São Carlos, 2001. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-05012005-121100/>>. Acesso em: 30 jul. 2012.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia Ambiente e Planejamento**. 8ª edição. São Paulo: Contexto, 2010.

SILVA, P. D. O. **O uso da cana de açúcar como combustível no Brasil: estudo de caso no município de Piracicaba – SP**. 2009. 82 f. Trabalho de Conclusão de Curso

(Graduação em Geografia) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2009.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. **Ambientes fluviais**. Florianópolis: UFSC, 1990. 181p.

TRICART, J. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson et Cie, 1965. 496p.

VERSTAPEN, H. T; ZUIDAM, R. A. van. System of geomorphological survey., **Manuel ITC Textbook**, Netherlands, vol. VII. 1975. 52p.

ZENGEL, S.; HAYES, O, M.; MICHEL, J.; WHITE, M. **Integrated Planning From The Mountains To The Sea - Environmental Sensitivity Mapping In The Caribbean**. Columbia: Research Planning, Inc, 2001

APÊNDICE - CD