

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**CARTA DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO EM AMBIENTES
TERRESTRES – APLICAÇÃO NO OLEODUTO OSBAT 1**

Diene de Lima Ramos

Prof.^a Dr.^a Paulina Setti Riedel

Rio Claro (SP)

2025

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

DIENE DE LIMA RAMOS

CARTA DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO EM
AMBIENTES TERRESTRES – APLICAÇÃO NO
OLEODUTO OSBAT 1

Trabalho de Conclusão de Curso
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 Geóloga .

Rio Claro - SP

2025

R175c Ramos, Diene de Lima
Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo em ambientes terrestres - aplicação no oleoduto OSBAT 1 / Diene de Lima Ramos. -- Rio Claro, 2025
69 f. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientadora: Paulina Setti Riedel

1. Geologia Ambiental. 2. Geoprocessamento. 3. Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo. I. Título.

DIENE DE LIMA RAMOS

CARTA DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO EM
AMBIENTES TERRESTRES – APLICAÇÃO NO
OLEODUTO OSBAT 1

Trabalho de Conclusão de Curso
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 Geólogo.

Comissão Examinadora

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

Dr.^a Claudia Vanessa dos Santos Corrêa

M.^a Daiana Marques Costa

Rio Claro, 28 de novembro de 2025.

Assinatura da aluna

Assinatura da orientadora

AGRADECIMENTOS

Deixo aqui meus sinceros agradecimentos a todos que estiveram ao meu lado durante os anos de graduação e nos momentos que passamos juntos. Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Dilma e Manoel, pela atenção, pelo cuidado, por todo o apoio e pela confiança sempre depositada em mim.

Agradeço à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Paulina Setti Riedel, pela dedicação, acolhimento e paciência com que me conduziu durante todo o processo. Sua orientação foi fundamental, seu amplo conhecimento me auxiliou e despertou meu interesse pelo tema abordado.

Aos membros da comissão examinadora, Dr.^a Claudia Vanessa dos Santos Corrêa e a M^a Daiana Marques Costa, pela disposição de ceder seu tempo para ler, avaliar e analisar esse trabalho por completo, além de aceitar participar de minha defesa, dedico meus mais sinceros agradecimentos.

Agradeço aos colegas e amigos que me acompanharam e incentivaram nessa jornada, em especial Livia e Gabriela, pelo companheirismo ao longo dos anos, pelo apoio moral e pelas alegrias compartilhadas.

Agradeço especialmente à minha irmã, Diana, por sua presença constante, seu apoio incondicional e suas palavras de incentivo, que foram fundamentais para que eu não desistisse, mesmo diante dos desafios mais complexos. Obrigada por acreditar em mim, me motivar e ser a inspiração que me impulsionou a seguir em frente até a conclusão deste trabalho.

Agradeço, de maneira geral, a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho, incluindo professores e professoras do curso, bem como os funcionários do Câmpus da Unesp Rio Claro, da biblioteca, do Departamento de Geologia e da Seção Técnica de Graduação e Administrativa.

RESUMO

As Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO) são importantes recursos do plano de ações e contingência do planejamento de risco de uma região, sendo elaborada como parte dos planos individuais de emergência em caso de acidentes envolvendo derramamento de óleo, pois classificam as áreas com relação às suas sensibilidades. O presente estudo tem como objetivo a obtenção de uma Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo, em um trecho da faixa de dutos São Sebastião - Cubatão (OSBAT), no litoral paulista. A área de estudo possui aproximadamente 70,5 km de extensão, desde o Terminal Marítimo de São Sebastião (TEBAR) até a Estação de Guaratuba, e já foi cenário de vazamentos de óleo significativos ao longo dos anos, apresentando uma variação de contexto geológico de rochas sedimentares e cristalinas. Técnicas de Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e pesquisas bibliográficas foram utilizadas para a análise da sensibilidade nos entornos do duto, em função de cinco variáveis físicas (litologia, declividade, densidade de fraturas, profundidade de nível d'água e uso e ocupação do solo), que foram integradas para a geração dos novos Índices de Sensibilidade Terrestre (ISTs). Os ISTs classificam a área em três níveis de sensibilidade correlacionados às cores semaforicas, sendo que o nível 1 corresponde à menor sensibilidade e o nível 3, à maior. Os resultados demonstraram que aproximadamente 55,6% da área no entorno do duto apresenta alta sensibilidade, concentrada principalmente nos trechos a oeste, nas proximidades da Estação de Guaratuba, enquanto as regiões de sensibilidade média (36,8%) e alta (7,6%) situam-se nas áreas mais próxima ao TEBAR. Com a realização do trabalho foi possível concluir que a metodologia empregada obteve resultados coerentes na classificação dos ISTs e que a seleção das cores semaforicas simplifica a interpretação da carta.

Palavras-chave: Sensibilidade Ambiental a Derramamento de Óleo; Derramamento de óleo; Oleoduto OSBAT; Índice de Sensibilidade Terrestre; Geoprocessamento.

ABSTRACT

Environmental Sensitivity Index (ESI) Maps for Oil (SAO Maps) are important resources in regional risk planning and contingency plans, being developed as part of individual emergency plans in the event of oil spill accidents. They classify areas according to their environmental sensitivity. This study aims to create an Environmental Sensitivity Index map for a section of the São Sebastião – Cubatão pipeline (OSBAT) along the coast of São Paulo. The study area is approximately 70.5 km long, extending from the São Sebastião Maritime Terminal (TEBAR) to the Guaratuba Station. This area has been the site of significant oil spills over the years and presents a geological context that varies between sedimentary and crystalline rocks. Geoprocessing, Remote Sensing techniques, and bibliographic research were used to analyze the sensitivity around the pipeline, based on five physical variables (lithology, slope, fracture density, groundwater depth, and land use/land cover), which were integrated to generate new Terrestrial Sensitivity Indices (TSIs). The TSIs classify the area into three sensitivity levels correlated with traffic-light colors, where Level 1 corresponds to the lowest sensitivity and Level 3 to the highest. The results showed that approximately 55.6% of the area around the pipeline has high sensitivity, concentrated mainly in the western sections near the Guaratuba Station, while the medium-sensitivity (36.8%) and low-sensitivity (7.6%) areas are located closer to TEBAR. The study concluded that the employed methodology provided coherent results in TSI classification, and that using traffic-light colors simplifies the interpretation of the map.

Keywords: Environmental Sensitivity to Oil Spills; Oil Spill; OSBAT Pipeline; Land Sensitivity Index; Geoprocessing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma de etapas e processos para a construção das Cartas SAO...	17
Figura 2- Zona da área de estudo, demonstrando área parcial fotointerpretada.....	28
Figura 3- Exemplo de ícones dos Recursos bióticos das Cartas SÃO.....	32
Figura 4- Exemplos de Recursos Socioeconômicos utilizados nas Cartas SAO.....	32
Figura 5- Mapa de Localização do oleoduto OSBAT.....	34
Figura 6- Mapa tectônico do segmento central da Faixa Ribeira e do setor meridional da Faixa Brasília, com destaque para área de estudo aproximada.....	36
Figura 7- Mapa Geológico com destaque para a área de estudo.....	37
Figura 8- Mapa geológico-estrutural e corte geológico simplificado caracterizando a estrutura em flor.....	39
Figura 9- Esquema simplificado demonstrativo da estrutura em flor.....	40
Figura 10- Mapa de índice de aquíferos.....	41
Figura 11- Esquema geral de um aquífero fraturado.....	42
Figura 12- Mapa Geomorfológico e Hipsométrico da região da Área de Estudo...	44
Figura 13- Mapa de Uso e Ocupação das áreas de estudo.....	46
Figura 14- Mapa de Unidades Geológicas da área de estudo demarcada pelo buffer.....	48
Figura 15- Diagrama de rosetas referente à área de estudo.....	50
Figura 16- Mapa das estruturas geológicas e mapa da densidade de fraturas.....	51
Figura 17- Mapa de declividade da área de estudo demarcada pelo buffer.....	53
Figura 18- Mapa da superfície potenciométrica da área de estudo demarcado pelo buffer.....	54
Figura 19- Mapa de profundidade da área de estudo demarcada pelo buffer.....	55
Figura 20- Mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo demarcada pelo buffer.....	56
Figura 21- Mapa do índice de sensibilidade terrestre (IST).....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Distribuição das unidades geológicas contidas no buffer.....	48
Tabela 2- Classificação da Sensibilidade Parcial da litologia.....	49
Tabela 3- Classificação da Sensibilidade Parcial da Densidade de Estruturas geológicas.....	52
Tabela 4- Classificação da Sensibilidade Parcial da Declividade.....	53
Tabela 5- Classificação da Sensibilidade Parcial da Profundidade do Nível d'água (m).....	55
Tabela 6- Classificação da Sensibilidade Parcial do Uso e Ocupação do Solo.....	57
Tabela 7- Atribuição de peso para as variáveis.....	57
Tabela 8- Padronização das cores RGB para os Índices de Sensibilidade Terrestres.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Representação do ISL e tipos de costa.....	18
Quadro 2- Dados dos acidentes ocorridos no Oleoduto OSBAT.....	21
Quadro 3- Multas e indenizações relacionadas aos acidentes do oleoduto OSBAT..	21

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

Cartas SAO	Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
ESI	Environmental Sensitivity Index
ESI-R	Environmental Sensitivity Index - Rivers
FBDS	Fundação Brasileira Desenvolvimento Sustentável
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMO	International Marine Organization
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
ISL	Índice de Sensibilidade do Litoral
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NEPA	<i>National Environmental Policy Act</i>
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OILPOL	Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição do Mar por Óleo
OSBAT	Oleoduto São Sebastião/Cubatão
OSPLAN	Oleoduto São Sebastião/Paulínia
OSVAT	Oleoduto São Sebastião-Vale do Paraíba.
PEI	Planos de Emergência Individuais
RECAP	Refinaria Capuava
RPBC	Refinaria Presidente Bernardes
SCSS	Sistema de Cavalcamento São Sebastião
SICAR	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SPRM	Shuttle Radar Topography Mission

TEBAR

Terminal Marítimo Almirante Barroso

ZCC

Zona de Cisalhamento Camburu

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 Contexto histórico das Cartas SAO.....	15
3.2 Contexto Cartas SAO no Brasil.....	16
3.3 Sensibilidade ao óleo em ambiente terrestre.....	19
3.4 Contexto do Oleoduto OSBAT.....	20
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 Seleção dos Aspectos.....	24
4.2 Etapa de obtenção dos componentes das Cartas SAO.....	26
4.2.1 Determinação do Índice de Sensibilidade Terrestre Parcial.....	26
4.2.2 Geologia – Litologias.....	27
4.2.3 Estruturas Geológicas lineares.....	27
4.2.4 Declividade.....	29
4.2.5 Profundidade do Nível d'água (N.A.).....	29
4.2.6 Uso e Ocupação do solo.....	30
4.2.7 Índice de Sensibilidade Terrestre (IST) Integrado.....	30
4.2.8 Determinação dos Recursos Socioeconômicos e Bióticos.....	31
5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	33
5.1 Localização.....	33
5.2 Contexto geológico regional.....	34
5.3 Contexto geológico Local.....	36
5.4 Estruturas geológicas.....	38
5.5 Nível d'água (NA).....	40
5.6 Geomorfologia.....	42
5.7 Uso e ocupação do Solo.....	45
6 RESULTADOS.....	47
6.1 Litologia.....	47
6.2 Estruturas Geológicas.....	49
6.3 Declividade.....	52
6.4 Profundidade do Nível d'água (NA).....	54
6.5 Uso e Ocupação do Solo.....	56
6.6 Índice de Sensibilidade Terrestre (IST).....	57
6.7 Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo.....	59
7 CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS.....	62
APÊNDICE A - CARTA DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL AO ÓLEO: OLEODUTO OSBAT 1.....	68

1 INTRODUÇÃO

O petróleo desempenha um papel essencial para a evolução da humanidade, sendo utilizado em larga escala, junto aos seus derivados, para suprir a demanda de matriz energética e como base de matéria prima para diversos produtos como remédios, plásticos, asfaltos, entre outros itens de consumo diário. No entanto, a alta demanda dessa fonte de energia gerou riscos ao meio ambiente, em consequência do caráter hidrofóbico e bioacumulativo do petróleo, além de sua composição química tóxica, persistência no ambiente e capacidade de se espalhar rapidamente.

Acidentes envolvendo contaminação por petróleo ocorrem no território brasileiro e no mundo, normalmente relacionados ao transporte desse produto que ocorre por meios terrestres (dutos, ferrovias, rodovias) e marinhos (balsas, navios transportadores, plataformas), nestes casos é necessária a aplicação de planos de emergência.

No caso do Brasil, o Decreto nº 4.871, de 06/11/2003 estabelece que os Planos de Área para o combate à poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional deverão conter mapas de sensibilidade ambiental, conforme as especificações e normas técnicas do Ministério do Meio Ambiente (MMA) para elaboração das Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo-Cartas SAO (BRASIL, 2002, 2004). Além de que para alguns empreendimentos inserem-se as Cartas SAO no conteúdo mínimo dos Planos de Emergência Individuais (PEI) segundo o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), nº 398.

A Carta SAO é uma ferramenta composta por três principais informações, sendo elas: o índice de sensibilidade dos ecossistemas (costeiros e terrestre), baseados nas características geomorfológicas dos habitats e persistência natural do óleo e sua limpeza; os recursos biológicos, com informações do meio biótico, detalhando inventário de espécies presentes, e sensíveis ao óleo; e as atividades socioeconômicas existentes na região que podem ser prejudicadas direto ou indiretamente pelo óleo, segundo as Especificações do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2004).

A National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), foi uma das precursoras na implantação de metodologias de mapeamento de sensibilidade, contudo a obra “Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo” (BRASIL, 2004) se tornou referência no território brasileiro, pois inclui modificações de acordo com

especificidades dos seus ambientes (Wieczorek, 2006).

A elaboração de Cartas SAO, em áreas próximas aos oleodutos, é indispensável em virtude dos riscos contínuos associados aos acidentes, falhas estruturais, corrosão e outros eventos que podem comprometer a integridade desse meio de transporte. Esses riscos tornam-se ainda mais preocupantes considerando o extenso território que os oleodutos normalmente percorrem, atravessando áreas urbanas, rurais e diversos ambientes geológicos e ecossistemas sensíveis.

Esses documentos apresentam índice da sensibilidade do meio físico, as informações biológicas e as atividades socioeconômicas que podem ser prejudicadas, representando importante subsídio na redução do impacto ambiental em áreas afetadas por derramamentos.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo a produção de uma Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO) referente a um trecho do oleoduto OSBAT, que conecta o Terminal Marítimo de São Sebastião à Estação de Guararema, estabelecendo as áreas que são mais sensíveis à contaminação por óleo e seus derivados com o auxílio da análise de aspectos socioeconômicos, bióticos e ambientais da região. Através do princípio da metodologia proposta originalmente por Martins (2012), com a definição de 5 aspectos baseados nos parâmetros do meio físico que mais influenciam a velocidade de escoamento superficial e infiltração do óleo no subsolo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Contexto histórico das Cartas SAO

Na década de 1940, os derramamentos de óleo ocorriam em escalas menores, porém conforme a exploração de petróleo se expandiu mais acidentes surgiram. Nos anos 1950 não havia legislação internacional eficaz para prevenir, monitorar ou punir derramamentos de petróleo, porém com a crescente visibilidade dos danos gerados na fauna marinha pelo descarte rotineiro de resíduos oleosos por navios e o hábito comum de lavar os tanques no oceano, ocorreu a criação da Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição do Mar por Óleo (OILPOL) em 1954, com o objetivo de impedir o despejo de óleo em áreas próximas à costa e estabelecer zonas de proteção marítima onde a descarga era proibida (IMO, 1954).

No início dos anos 60, houve o aumento significativo do transporte de petróleo por navios, acarretando em um número crescente de acidentes marítimos causados por colisões e encalhes em áreas costeiras. Um exemplo foi o derramamento de petróleo do navio Torrey Canyon em 1967, um dos primeiros a receber cobertura da mídia internacional mostrando consequências significativas para o meio ambiente, junto com o derramamento de petróleo em Santa Bárbara, em 1969, que causou a entrada dos Estados Unidos nas questões ambientais (Aras, 2019).

Ao final do ano de 1969, o EUA criou a National Environmental Policy Act (NEPA) sendo esta sua primeira grande ação em relação aos derramamentos sofridos naquela década, que também influenciaram medidas posteriores como a EPA (Environmental Protection Agency) e o primeiro Dia da Terra (Earth Day). Em consequência da crescente consciência ambiental foi fundada a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), com o objetivo de unificar várias agências dispersas dos Estados Unidos que trabalhavam separadamente em temas relacionados à pesquisa científica e à gestão ambiental (Martin, 2023).

A NOAA iniciou na década de 1970 os primórdios do que seriam as Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO) como uma ferramenta para auxiliar no planejamento e resposta a derramamentos de petróleo em ambientes marinhos e costeiros. Sua metodologia se baseia na classificação da sensibilidade ambiental dos ecossistemas, considerando aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos,

sendo que segundo Araújo et al. (2002), as cartas são documentos cartográficos de fácil leitura e compreensão, úteis para auxiliar nas decisões sobre prioridades de proteções e estratégias de limpeza do ambiente.

Em 1978, Gundlach e Hayes propuseram uma das primeiras classificações quanto à sensibilidade ambiental, Environmental Sensitivity Index (ESI), do inglês, levando em consideração fatores físicos dos ambientes que controlam o comportamento e permanência do óleo desenvolveram uma escala (índices) de 1 a 10 em termos de vulnerabilidade potencial. De maneira similar, o esquema de classificação de índices de Michel *et al.* (1978) foi atrelado principalmente ao modo de ocorrência e à longevidade do óleo em diferentes ambientes costeiros, embora considerando também a suscetibilidade biológica e facilidade de limpeza manual.

Ao longo dos anos muitos métodos foram propostos, visando tanto a classificação dos ambientes quanto o desenvolvimento das ferramentas para sua implementação (Araújo *et al.*, 2002). No início da década de 1990 as ferramentas de elaboração das Cartas SAO mudaram por completo, com o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), sendo que a NOAA (1997) padronizou e sistematizou cores e simbologias para os mapas. A versão mais recente das diretrizes da NOAA é a versão 4.0, publicada em 2019, que fornece uma visão abrangente sobre a metodologia ESI.

3.2 Contexto Cartas SAO no Brasil

No início dos anos 2000, o Brasil foi palco de três grandes eventos envolvendo derramamento de óleo em um intervalo curto de apenas dois anos, o primeiro grande acidente ocorreu em janeiro de 2000 na Baía de Guanabara, esse foi o acidente com maior repercussão nos meios de comunicação pois causou graves danos aos ecossistemas costeiros, como manguezais e áreas de reprodução de fauna aquática. Poucos meses depois, em julho do mesmo ano, outro derramamento de grandes proporções aconteceu, desta vez no estado do Paraná, atingindo o Rio Barigui e, posteriormente, o Rio Iguaçu. Em março de 2001, ocorreu mais um marco importante, o acidente com a plataforma P-36, na Bacia de Campos, também no litoral do Rio de Janeiro (Poffo, 2000).

Esses eventos expuseram as fragilidades no sistema nacional de gestão ambiental e na preparação para emergências tecnológicas, gerando um

fortalecimento das exigências por planos de contingência ambiental, planos de emergência individual (PEI) e outros mecanismos de prevenção. Vale destacar que, em 28 de abril de 2000, foi sancionada a Lei nº 9.966, que atribuiu ao Ministério do Meio Ambiente responsabilidades na identificação, localização e definição dos limites das áreas ecologicamente sensíveis com relação à poluição causada por lançamento de óleo.

Araújo *et al.* (2002), juntamente com a Petrobras, realizaram a primeira contribuição ao mapeamento da sensibilidade ambiental no Brasil, produzindo o primeiro guia brasileiro: o “Manual básico para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobras: ambientes costeiros e estuarinos”. Este que serviu de modelo para que o Ministério do Meio Ambiente, seguindo os preceitos da NOAA e visando a padronização e elaboração das Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo (Cartas SAO), construiu no ano 2002, um manual de especificações e normas técnicas para a sua elaboração (D’Affonseca *et al.*, 2023).

O Brasil possui uma zona costeira extensa e ecologicamente diversa, com a costa litorânea apresentando particularidades que influenciam o comportamento do óleo no mar, como correntes oceânicas diferentes (ex: Corrente do Brasil) e sua ampla faixa tropical com regimes de maré e ventos variados, sendo assim foi necessária uma adaptação no Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) para se adequar aos nossos biomas. No ano de 2004, o manual de especificações foi atualizado com melhorias e adequações, sendo vigente até hoje com o ISL classificando os ambientes de 1 a 10, em ordem crescente de sensibilidade, segundo o Quadro 1 (BRASIL, 2004).

O Decreto nº 4.871, de 06/11/2003, estabelece que os Planos de Área para o combate à poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional deverão conter mapas de sensibilidade ambiental, conforme as especificações e normas técnicas para a elaboração das Cartas SAO. Além de que para alguns empreendimentos inserem-se as Cartas SAO no conteúdo mínimo dos Planos de Emergência Individuais (PEI) segundo CONAMA nº 398.

Quadro 1 - Representação do ISL e tipos de costa

ISL	Cor (RGB)	Tipo de Costa
1	 119/38/105	• Costões rochosos lisos, de alta declividade, expostos • Falésias em rochas sedimentares, expostas • Estruturas artificiais lisas (paredões marítimos artificiais), expostas
2	 174/153/191	• Costões rochosos lisos, de declividade média a baixa, expostos • Terraços ou substratos de declividade média, expostos
3	 0/151/212	• Praias dissipativas de areia média a fina, expostas • Faixas arenosas contíguas à praia, não vegetadas, sujeitas à ação de ressacas (restingas isoladas ou múltiplas, feixes alongados de restingas tipo "long beach") • Escarpas e taludes íngremes (formações do grupo Barreiras e Tabuleiros Litorâneos), expostos • Campos de dunas expostas
4	 146/209/241	• Praias de areia grossa • Praias intermediárias de areia fina a média, expostas • Praias de areia fina a média, abrigadas
5	 152/206/201	• 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	 0/149/32	• Praias de cascalho (seixos e calhaus) • Costa de detritos calcários • Depósito de tálus • Enrocamentos ("rip-rap", guia corrente, quebra-mar) expostos • Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (disformes e porosas)
7	 214/186/0	• Planície de maré arenosa exposta • Terraço de baixa-mar
8	 225/232/0	• Praias de cascalho (seixos e calhaus) • Costas de detritos calcários • Depósitos de tálus • Enrocamentos ("rip-rap", guia corrente, quebra-mar) expostos • Plataforma ou terraço exumado recoberto por concreções lateríticas (difformes e porosas)
9	 248/163/0	• 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	 214/0/24	• 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: BRASIL (2004)

3.3 Sensibilidade ao óleo em ambiente terrestre

Mesmo que o mapeamento da sensibilidade ambiental tenha originalmente se desenvolvido para as áreas litorâneas, com o aumento de acidentes em áreas continentais destacou-se a importância de ampliar a abordagem para outros ambientes, ocasionando a atualização dos índices do guia de sensibilidade da NOAA para incluir os ambientes lacustres, fluviais e palustres (lagos, rios e pântanos) (Peterson *et al.*, 2002).

Os acidentes em ambientes terrestres se associam ao transporte do produto através do rompimento de dutos, descarrilamento de trens e acidentes envolvendo caminhões tanques, em rodovias. Estão relacionados a várias causas, como à falha técnica, erro humano ou condições ambientais, como um caso de vazamento de petróleo terrestre relevante, pode-se citar o ocorrido em 2000 no Peru, que de acordo com a Human Rights Watch (2001) resultou na contaminação de vastas áreas de floresta tropical e na morte de inúmeros animais gerando um impacto ambiental devastador, com a destruição de habitats e a contaminação de cursos d'água vitais para as comunidades locais.

Uma das primeiras tentativas de mapeamento de áreas continentais foi proposta por Walker *et al.*, em 1978, em regiões de dutos, sendo que os trabalhos mais recentes de Mendes *et al.* (2005) e Gundlach *et al.* (2005), que retomam a sensibilidade para áreas de dutos, tentando se alinhar com os métodos proposta pela NOAA.

As pesquisas iniciais propuseram, como as realizadas por Martins (2012) na Rodovia dos Tamoios (SP-099), metodologias baseadas em variáveis físicas como declividade, textura do solo, profundidade do nível d'água e permeabilidade, resultando no Índice de Sensibilidade Terrestre (IST). Contudo, com a variedade das pesquisas foram incluídos, em alguns casos, além dos fatores físicos, aspectos biológicos, como a presença de fauna, e socioeconômicos, como uso do solo e ocupação humana.

A proposta de Gil-Agudelo *et al.* (2019) adapta as diretrizes da NOAA ao criar o índice ESI-R (ISE Fluvial) para os principais rios da Colômbia e áreas com características semelhantes, sendo que este índice incorpora as características hidrológicas e hidráulicas relacionadas aos rios, além de buscar analisar características físicas e os recursos biológico.

Trabalhos mais recentes como o de Wekpe *et al.* (2024) e Ifuwe *et al.* (2024), propuseram importante alteração na quantidade de índices de sensibilidade, visto que a NOAA estabelece o uso de 10 níveis. No entanto, na visão dos autores, o emprego de quatro e três classes foi suficiente para um bom detalhamento em mapa.

3.4 Contexto do Oleoduto OSBAT

Durante as décadas de 1960 e 1970, o Brasil ainda não possuía produção de petróleo suficiente para abastecer o país internamente, sendo que 80% do petróleo consumido era importado por navios que atracavam no Terminal Marítimo Almirante Barroso (TEBAR), em São Sebastião. Entre os anos de 1968 a 1973, período conhecido como "milagre econômico", o rápido e intenso crescimento da economia possibilitou um grande investimento em infraestrutura e industrialização, resultando na construção de oleodutos estratégicos, terminais marítimos e novas refinarias (Souza, 2018).

O oleoduto OSBAT foi inaugurado em 1968, visando transportar o petróleo importado do litoral até a Refinaria Presidente Bernardes (RPBC), localizada em Cubatão, no interior paulista. Integrando-se aos oleodutos OSPLAN, que se estende até Paulínia, e OSVAT, com destino a Guararema, formou-se uma rede estratégica para o abastecimento energético do Sudeste brasileiro. Antes da implantação dessa infraestrutura, o transporte era realizado parcialmente por caminhões-tanque ou por ferrovias, o que era economicamente mais caro, demorado e arriscado (Petrobras, 2024).

O OSBAT tem sido palco de diversos acidentes ambientais significativos (Quadro 2), por consequência de sua trajetória que atravessa áreas da Serra do Mar e percorre trechos com encostas, vales e rios, situados em regiões de clima úmido e solo instável. Esses fatores geográficos e climáticos tornam a operação do oleoduto particularmente suscetível a vazamentos e deslizamentos de terra, com impactos ambientais relevantes (CETESB, 2023).

Quadro 2- Dados dos acidentes ocorridos no Oleoduto OSBAT.

Ano / Data	Trecho do OSBAT	Volume Vazado	Impactos Ambientais
14/10/1983	Bertioga (Tebar I)	~2.500 m ³	Manguezais, praias, canal de Bertioga, área costeira de 100 km ²
mai/88	São Sebastião (Tebar III)	~1.000 m ³	10 praias atingidas, contaminação do solo e águas
mai/94	São Sebastião (Tebar V)	~2.700 m ³ (2.700.000 L)	35 praias, 2 ilhas, córregos e áreas de preservação ambiental
18/02/2004	Morro do Outeiro – Rio Guaecá	~266 mil litros (≥ 260 m ³)	Parque Estadual da Serra do Mar, manguezais, rio Guaecá, fauna aquática, óleo presente por mais de 1 ano
abr/13	Canal São Sebastião–Caraguat atuba	~3.500 litros	Contaminação do canal, mangues e áreas costeiras adjacentes

Fonte: CETESB, 2023

A Petrobras já foi condenada a pagar milhões de reais em multas e indenizações por danos ambientais relacionados aos vazamentos (Quadro 3), além dos custos de contenção, limpeza e remediação das áreas afetadas. Dessa forma, o oleoduto OSBAT necessita de frequentes manutenções, atualizações tecnológicas e reavaliações de risco, sendo que a responsável pela sua operação e manutenção é a Transpetro, subsidiária da Petrobras. (CETESB, 2023)

Quadro 3 - Multas e indenizações relacionadas aos acidentes do oleoduto OSBAT.

Trecho do OSBAT	Multas Aplicadas	Ações Judiciais e Indenizações
Bertioga (Tebar I)	Não divulgada	Primeiro processo judicial ambiental do Brasil
São Sebastião (Tebar III)	Não divulgada	Sem registro de ação judicial relevante
São Sebastião (Tebar V)	Em 2016, foi obrigada a pagar R\$ 300 mil	Ação judicial estadual
Morro do Outeiro – Rio Guaecá	CETESB (R\$ 125 mil), Prefeitura (~R\$ 15 mil)	Ação MPF/MP-SP (2017): pedido de R\$ 322,6 milhões por dano moral coletivo e ambiental
Canal São Sebastião–Caraguat atuba	CETESB (R\$ 10 milhões), Prefeitura (R\$ 50 mil)	Justiça Federal (2019): condenação a pagar R\$ 2 mi + obras ambientais; TJ-SP: R\$ 10 mil para cada pescador

Fonte: CETESB, 2023.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa foi selecionado um trecho da faixa de dutos São Sebastião - Cubatão (OSBAT), na região litorânea do estado de São Paulo. Após a escolha da área, houve a integração do material utilizado para a elaboração das cartas, empregando diferentes métodos conforme as etapas de execução dos processos, as quais serão detalhadas no tópico seguinte.

A consulta a artigos e levantamento bibliográfico desenvolveram-se em quase todas as etapas, bem como as técnicas de geoprocessamento, aplicadas por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), presentes desde a montagem do banco de dados espacial, até a integração dos dados e elaboração do produto final.

O levantamento bibliográfico, realizado durante toda a pesquisa, englobou as metodologias e técnicas utilizadas para a sensibilidade ambiental ao óleo, inclusive auxiliou na caracterização da área de estudo por meio de trabalhos acadêmicos, livros, artigos, periódicos, documentos oficiais, relatórios técnicos e bases cartográficas, obtidas por meio de bases de dados nacionais e internacionais virtuais, em bibliotecas eletrônicas. O material cartográfico virtual, junto com os softwares utilizados, são listados a seguir e associados à sua finalidade.

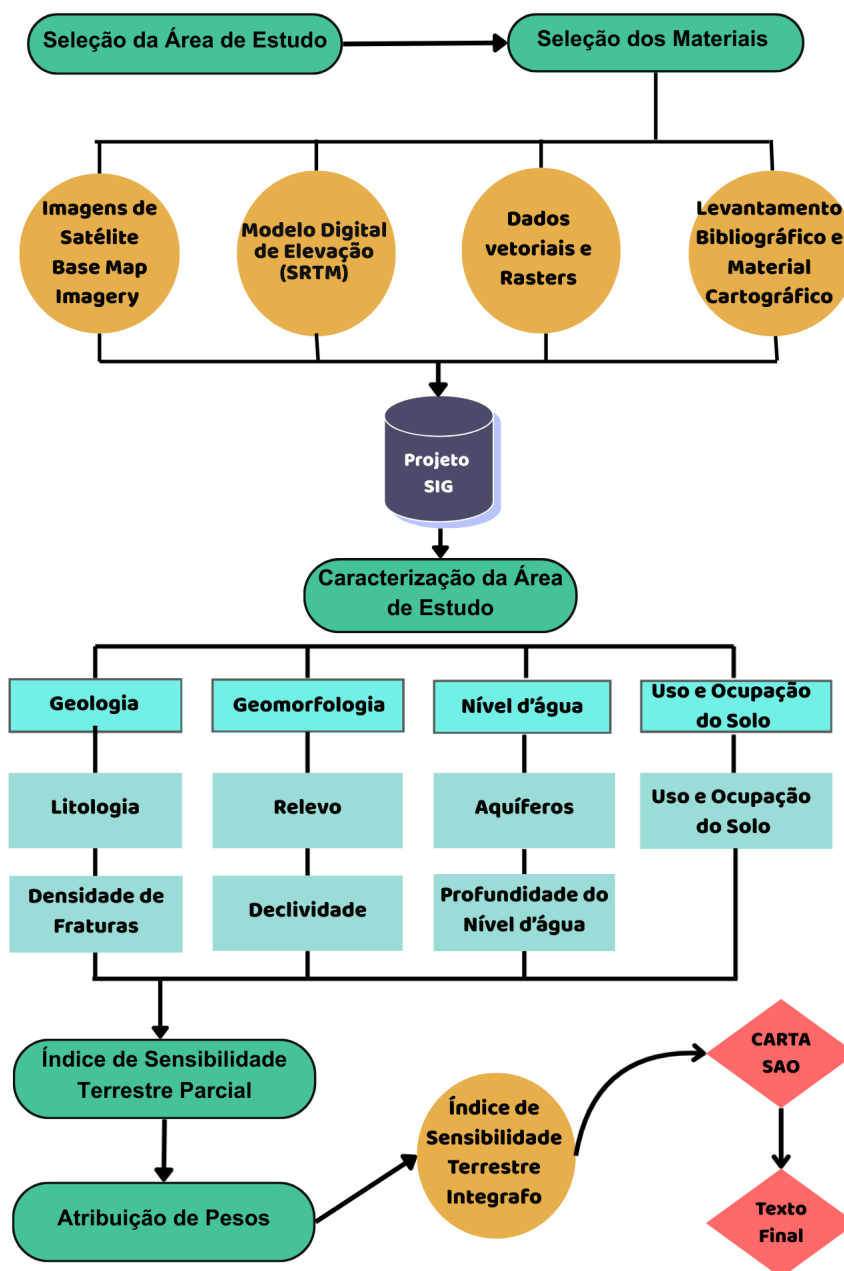
- Sistema de Informações Geográficas (SIG) - ArcGIS Pro 3.5; QGIS Firenze long release 3.40.12 - Banco de dados e Softwares operados.
- Modelo Digital de Elevação SPRM (*Shuttle Radar Topography Mission*), resolução 30 m - Extraído pelo *Open Topography* através do QGIS - 3.40.12 - Base para elaboração do mapa de declividade e mapa de profundidade.
- Classificação de relevo da EMBRAPA (2018)- Declividade em porcentagem - Base para elaboração do mapa de declividade.
- Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1: 750.000, formato vetorial (CPRM, 2006) - Base para elaboração do mapa geológico e do mapa litológico.
- Malha Municipal do Brasil, escala 1:500.000, formato digital vetorial (IBGE, 2007); - Base para elaboração do mapa de localização.
- Mapa de compartimentos do relevo no Brasil, escala 1: 12.000.000, formato digital vetorial (IBGE, 2023) - Base para elaboração do mapa de geomorfologia.
- Mapa de índice de Aquíferos do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000 (CPRM, 2005) - Base para elaboração do mapa de índice dos aquíferos.
- Mapa de Cobertura e Uso do Solo do Município de São Sebastião (SP), escala

1:250.000, formato digital vetorial (FBDS, 2024); - Base para elaboração do mapa de uso e ocupação do solo.

- Mapa de Cobertura e Uso do Solo do Município de Bertioga (SP), escala 1:250.000, formato digital vetorial (FBDS, 2024) - Base para elaboração do mapa de uso e ocupação do solo

Para alcançar os objetivos propostos, foram realizadas diversas etapas, segundo a Figura 1, cada qual com seus métodos específicos, detalhados ao longo deste tópico.

Figura 1 - Fluxograma de etapas e processos para a construção das Cartas SAO.



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1 Seleção dos Aspectos

O índice de sensibilidade ao óleo, nos entornos do duto, será denominado neste trabalho de Índice de Sensibilidade Terrestre (IST) e sua obtenção consiste na etapa final de uma série de processos que se iniciam na caracterização da área, sendo que esta buscou apresentar importantes constituintes do meio físico da região, que influenciam na dinâmica do óleo, ou então, que são afetados em caso de

um possível derramamento.

A caracterização, portanto, foi marcada pelo desenvolvimento e confecção de alguns mapas auxiliares, com utilização de levantamento bibliográfico, bases de dados nacionais, bibliotecas virtuais de dados vetoriais, cartas topográficas, Modelo Digital de Elevação (MDE), publicações em periódicos, imagens orbitais, dentre outras fontes, para a integração da análise do meio físico de cinco principais aspectos: o contexto geológico, o contexto geomorfológico, as estruturas geológicas, profundidade do nível d'água e o uso e ocupação do solo.

A escolha dos aspectos estudados foi baseada nos parâmetros do meio físico que mais influenciam a velocidade de escoamento superficial e infiltração do óleo no subsolo, conforme o princípio da metodologia proposta originalmente por Martins (2012). As unidades geomorfológicas, por exemplo, ilustram o tipo de relevo e a declividade da região, possibilitando uma análise de sua influência no transporte do óleo e o impacto que causará nos diferentes ambientes.

Em áreas de alta declividade, o risco de contaminação superficial direta é relativamente baixo, pois estas áreas dificultam a propagação horizontal do óleo, que se acumulam em áreas mais baixas ou de difícil acesso uma vez que o óleo tende a se acumular nas áreas mais baixas ou zonas de drenagem, como as planícies.

A composição litológica determina em boa parte o tipo de solo que será formado e algumas de suas características herdadas da rocha inalterada ao longo do perfil de solo. Os substratos permeáveis, como areias e cascalho, facilitam a infiltração do óleo no solo, o que pode levar à contaminação dos aquíferos subterrâneos, enquanto que, os substratos com baixa permeabilidade, como argilas e rochas compactas, oferecem maior resistência à infiltração, mas podem resultar no acúmulo do óleo na superfície.

A profundidade do nível d'água se relaciona com a probabilidade do óleo atingir o fluxo de água subterrânea, ocasionando no risco de sua dispersão para outros ambientes, como rios, aquíferos e poços de captação e consumo da região, agravando os impactos ambientais. Em regiões com nível d'água raso, a infiltração do óleo pode ser rápida, aumentando o risco de contaminação dos aquíferos e a dificuldade de remoção do óleo da superfície, enquanto em áreas com nível d'água profundo, o risco de contaminação dos aquíferos é reduzido, mas o óleo pode se dispersar facilmente em áreas de drenagem superficial, afetando corpos d'água como rios e lagos.

Os aquíferos são estritamente dependentes do tipo de rocha existente em

determinada região, uma vez que aquíferos em maciços cristalinos têm o nível d'água variante segundo a disposição espacial do fraturamento, pois as rochas fraturadas podem criar canais por onde a água locomove-se, enquanto que os aquíferos sedimentares concentram a água em arenitos permo-porosos, delimitados por camadas confinantes governadas também pela granulometria, sendo mais suscetíveis à contaminação em decorrência de sua estrutura porosa.

O uso e ocupação do solo auxilia na determinação das atividades humanas impactadas pela contaminação, incluindo também áreas naturais e agrícolas. Dependendo da ocupação da área, é possível estabelecer estimativas indiretas do impacto do vazamento, pois as áreas urbanas e edificadas são mais suscetíveis a vazamento devido à sua infraestrutura. As áreas agrícolas, por sua vez, podem apresentar um impacto mitigador (Wang *et al*, 2023), até certo ponto, por consequência do solo cultivado que gera dificuldade na infiltração do óleo. Nas áreas naturais, porém, como zonas de manguezais ou florestas, a sensibilidade é alta e estas áreas podem sofrer danos irreversíveis, afetando ecossistemas e biodiversidade.

4.2 Etapa de obtenção dos componentes das Cartas SAO

Os componentes mais importantes da Carta SAO, o Índice de Sensibilidade Terrestre (IST), os recursos bióticos e as atividades socioeconômicas foram gerados com a utilização de métodos próprios e análise de cartas já existentes. Assim, detalha-se, a seguir, a aquisição de cada um dos três elementos.

4.2.1 Determinação do Índice de Sensibilidade Terrestre Parcial

O IST Parcial é o parâmetro numérico preliminar que torna possível o estabelecimento da sensibilidade em diferentes níveis, através da classificação de sua distribuição espacial. Neste trabalho, optou-se pela classificação da sensibilidade das variáveis em níveis de 1 a 3, com o intuito de seguir as cores semaforicas facilitando a análise, sendo 3 o indicador das porções mais sensíveis e 1, das menos sensíveis.

Nos parágrafos seguintes, são descritos os métodos usados para a obtenção dos mapas de cada variável e apresenta-se os seus respectivos Índices de Sensibilidade Parcial, classificados também no intervalo de 1 a 3, e as tabelas com a

referida atribuição de pesos para cada uma das variáveis são encontradas no capítulo de Resultados.

4.2.2 Geologia – Litologias

A distribuição litológica da área foi estabelecida conforme o Mapa Geológico do Estado de São Paulo (CPRM, 2006), do qual exportou-se dados em formato vetorial shapefile ao ArcGIS Pro 3.5. Baseado neste modelo foram extraídas as unidades inseridas na área delimitada pelo buffer, que sofreram a alteração na coloração com o intuito de facilitar a diferenciação visual, resultando no mapa geológico adaptado.

A classificação da sensibilidade litológica foi designada através da descrição dos litotipos das unidades analisadas, avaliando suas composições mineralógicas e sua natureza genética, estabelecendo valores de 1 a 3.

As rochas sedimentares foram consideradas como as mais sensíveis devido à sua porosidade elevada em comparação às rochas de outras origens. As unidades: Depósitos aluvionares (Q2a), Depósitos litorâneos indiferenciados (Qli) e Depósitos detríticos indiferenciados (Qdi), apresentam composições similares e, por isso, receberam o maior valor de sensibilidade.

As rochas metamórficas foram consideradas mais sensíveis que as ígneas, pois possuem, no geral, planos de orientação preferencial que implicam no aumento de sua permeabilidade, sendo atribuídas ao mesmo valor. Houve uma diferenciação na sensibilidade das cristalinas entre si, de modo que rochas que contêm maior porcentagem de minerais menos resistentes ao intemperismo são consideradas mais sensíveis, tal como o Granito foliados calcialcalinos (NP3ay1I).

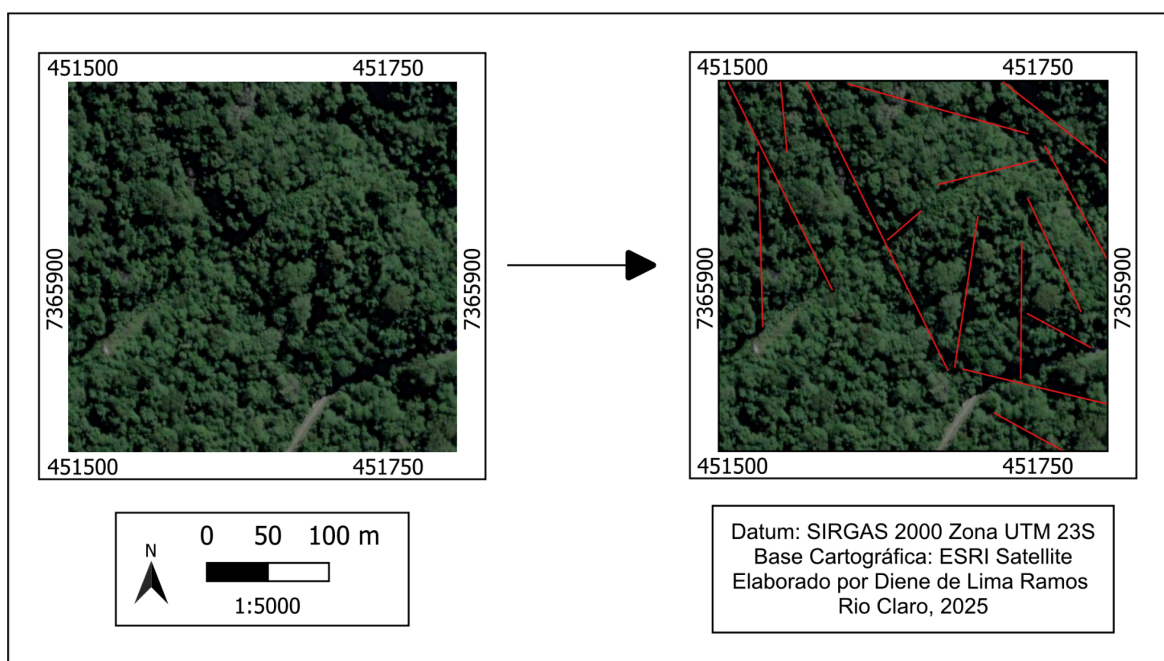
4.2.3 Estruturas Geológicas lineares

Na área de estudo as estruturas lineares geológicas apresentam-se na forma de falhas geológicas e, principalmente, fraturas que ocorrem ao longo da área delimitada pelo buffer, elaborado com distância de 3 quilômetros em relação ao oleoduto OSBAT. A identificação e extração de fraturas foi realizada através da análise de imagens de satélite do *Basemap Imagery* do ArcGis Pro 3.5 e do QGis

3.40, e as falhas foram retiradas diretamente em formato vetorial do Mapa Geológico do Estado de São Paulo (CPRM, 2006).

As fraturas foram extraídas a partir de técnicas de fotointerpretação, na qual a superfície do terreno através das imagens Base Map, é analisada e são extraídas feições lineares, marcadas por orientação da drenagem, como demonstrado na Figura 2, e salvas em formato shapefile.

Figura 2- Zona da área de estudo, demonstrando área parcial fotointerpretada.



Fonte: Elaborado pela autora

Para realizar a classificação da sensibilidade parcial das fraturas, no que diz respeito à densidade do fraturamento e distribuição em área, foi utilizado o algoritmo *Kernel Density*, responsável por quantificar as relações das linhas dentro de um raio de influência pré-definido de 3 quilômetros, determinando sua densidade dentro de buffer. Ao final do processo foi inserido ao buffer a linha costeira da região, em formato de shapefile, para aprimorar a visualização da superfície terrestre do terreno. Assim, foram estabelecidas três classes de densidade: densidade baixa, densidade média e densidade alta.

Com o intuito de desenvolver a análise da direção das estruturas lineares foi aplicada a funcionalidade *Line Direction Histogram* do Qgis, que possibilitou a

realização de histogramas de rosetas, indicando a direção preferencial das fraturas e falhas da região.

4.2.4 Declividade

Para a elaboração do mapa de declividade utilizou-se o Modelo Digital de Elevação SRTM, com resolução espacial de 30m e, através do software ArcGis Pro junto com o auxílio da ferramenta de *Slope* (Spatial Analyst), foi gerado um raster com pixels em porcentagem de inclinação.

A declividade obtida foi baseada na classificação do relevo proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2018) e modificada através da ferramenta *reclassify*, para atender a apenas três níveis de sensibilidade parciais, visto que a classificação original é dividida em seis classes. O grau de sensibilidade foi atribuído em ordem crescente, de forma que quanto maior o valor da classe, maior a sua sensibilidade.

4.2.5 Profundidade do Nível d'água (N.A.)

A profundidade do nível d'água é obtida ao final de uma série de processamentos, conforme metodologia adaptada de Sturaro (2011), estimando a espessura da zona insaturada. Primeiramente foram extraídas, em formato vetorial, drenagens e nascentes a partir da análise da imagem de satélite do *ESRI Base Map*, com elas criou-se uma malha de pontos shapefile de nascentes e cruzamentos dos rios de primeira ordem.

Nessa malha foram adicionadas informações de cota altimétrica a partir do Modelo Digital de Elevação SRTM, com o auxílio da ferramenta *Add Surface Information*, na forma de Point Elevation de ponto para nascentes e Mean Elevation ao longo das drenagens, utilizou-se o interpolador *Topo to Raster* nos shapefile resultantes, para gerar a Superfície Potenciométrica do nível d'água.

Posteriormente, com a aplicação da ferramenta *Raster Calculator*, a Superfície Potenciométrica do nível d'água foi subtraída do próprio Modelo Digital de Elevação SRTM, gerando o raster de profundidade do nível d'água. Para a classificação da sensibilidade referente à profundidade do NA, foram estabelecidas

três classes, também em ordem crescente de sensibilidade, onde as áreas mais profundas são menos sensíveis.

4.2.6 *Uso e Ocupação do solo*

Os tipos de uso e ocupação contemplados nas áreas de estudo foram adquiridos em formato vetorial de acordo com a proposta do FBDS (2024), sem sofrer qualquer modificação. Para determinar a sensibilidade parcial dos usos e tipos de cobertura considerou-se a facilidade de percolação do óleo e a importância do meio biológico e do meio socioeconômico, variando de 1 a 3.

As áreas edificadas compreendem superfícies artificiais e não permeáveis, tal como as cidades, resultando em uma menor probabilidade de infiltração do óleo e sendo classificadas com a menor sensibilidade. Ao mesmo tempo em que as áreas antropizadas englobam regiões onde houve intervenção humana, que ocasionou a supressão da vegetação nativa ou a alteração das características originais do solo, classificadas como sensibilidade intermediária.

As áreas de vegetação florestal nativa e corpos d'água continentais são mais sensíveis ao derramamento de óleo, pois possuem maior população de plantas e animais que podem ser afetados. Também pode haver possibilidade de contaminação de carne e água para consumo humano e alimentação, podendo tornar-se impróprios para consumo e trazer prejuízos econômicos.

4.2.7 *Índice de Sensibilidade Terrestre (IST) Integrado*

Após a geração dos rasters e mapas temáticos para cada uma das cinco variáveis e suas respectivas classificações de Sensibilidade Parcial, utilizou-se a ferramenta *Reclassify* para reclassificar o valor dos pixels e correspondê-los apenas aos valores inteiros da pontuação de 1 a 3.

Além disso, foi necessário estabelecer os valores de importância relativa de cada variável, ou seja, a atribuição de pesos entre as cinco variáveis, tarefa que foi realizada de acordo com a análise de qual variável apresenta maior relevância no contexto da sensibilidade.

Para a atribuição de pesos entre as variáveis, adotou-se a classificação de pesos que também variam de 1 a 3, em que 1 indica menor importância em relação

às demais, e 3 representa maior relevância. Utilizou-se a ferramenta *Weighted Sum* do ArcGIS Pro, a qual realiza a multiplicação ponderada do peso atribuído à variável pelo valor de suas classes, permitindo assim obter a classificação final, ou seja, os Índices de Sensibilidade Terrestre distribuídos em três níveis.

Ao final do processo, atribuiu-se a coloração aos respectivos ISTs, buscando estabelecer cores intuitivas para agilizar a compreensão das cartas, modificando a escala atual proposta pelo MMA (2017). A tabela com a atribuição de cores em RGB e a distribuição dos pesos pode ser encontrada no capítulo de Resultados.

4.2.8 Determinação dos Recursos Socioeconômicos e Bióticos

A metodologia para o componente “Recursos Bióticos” das cartas foi desenvolvida, principalmente, a partir de levantamentos bibliográficos e consultas às normas técnicas para as classificações dos organismos identificados nas Cartas SAO, caracterizada com a base nos grupos de Invertebrados Terrestre, Mamíferos, Répteis, Anfíbios, Aves e Peixes (BRASIL, 2004; 2007). Essas classes de animais foram integradas nas cartas como ícones georreferenciados em SIG, correspondentes ao seu habitat natural (Figura 3), seguindo informações vetoriais extraídas do GBIF (2025) e do MMA (2007).

Os recursos socioeconômicos (Figura 4) também foram categorizados de acordo com as normas técnicas para elaboração das Cartas SAO (BRASIL, 2004; 2007) e, de maneira semelhante, correspondem a ícones representativos de atividades de uso humano em uma determinada localidade. Essas informações foram extraídas em formato vetorial do site do MMA, assim como correlacionadas com o trabalho do Pincinato (2007) e Cunha (2009).

Figura 3- Exemplo de ícones dos Recursos Bióticos das Cartas SAO.

Grupo Aves Cor verde (RGB: 136/185/0) Distribuição espacial: 	
Grupo Mamíferos (aquáticos e terrestres) Cor marrom (RGB: 215/153/52) Distribuição espacial: 	
Grupo Invertebrados marinhos Cor amarela (RGB: 180/165/40) Distribuição espacial: 	
Grupo Répteis/ anfíbios Cor vermelha (RGB: 216/0/67) Distribuição espacial: 	
Grupo Peixes Cor azul (RGB: 0/159/230) Distribuição espacial: 	

Fonte: BRASIL (2004; 2007).

Figura 4 - Exemplos de Recursos Socioeconômicos utilizados nas Cartas

Áreas sob gestão especial  Unidade de conservação terrestre  Unidade de conservação marinha	Recreação  Praias  Casas residenciais/ veraneio
Cultural  Sítio arqueológico  Reserva indígena/ comunidade tradicional/ remanescente de quilom- bo	Uso/ Extração de recursos naturais  Tomada d'água  Pesca recreativa

Fonte: BRASIL (2004; 2007).

5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

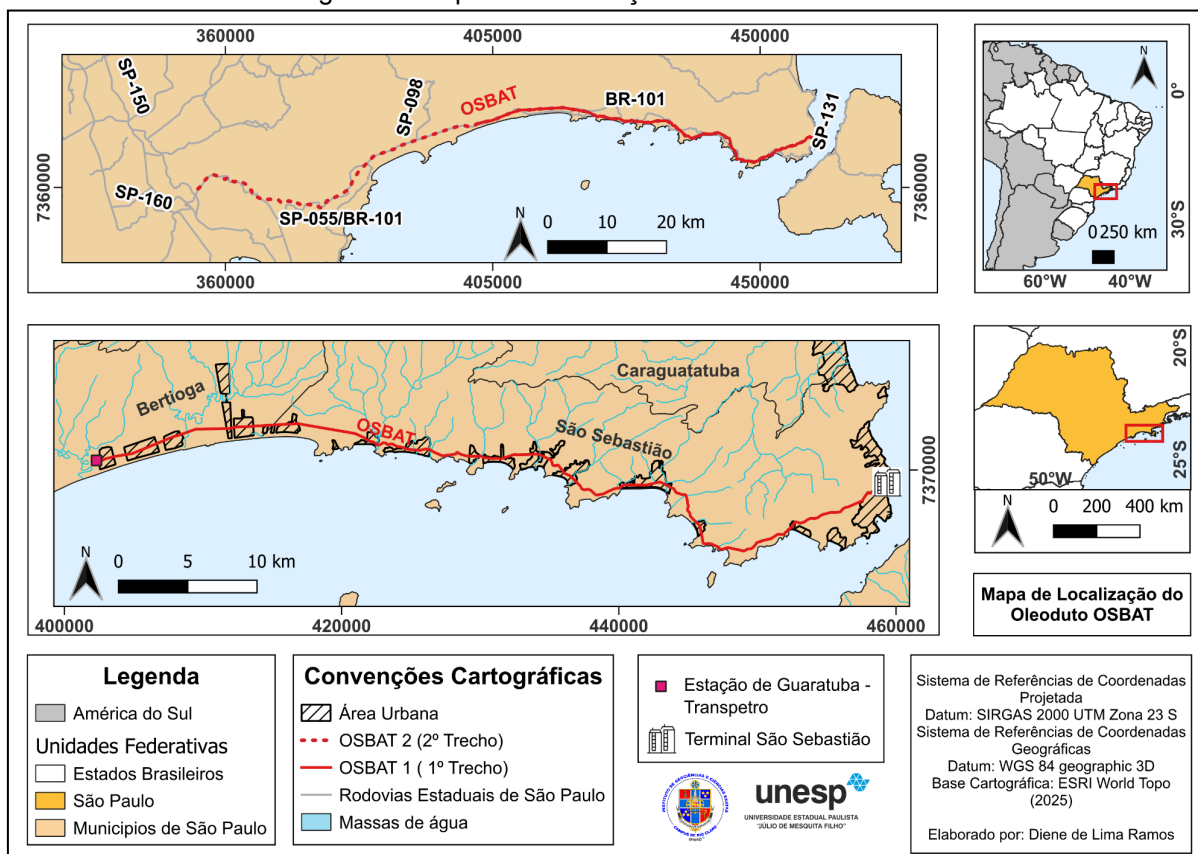
5.1 Localização

O oleoduto OSBAT (Oleoduto São Sebastião–Cubatão) é um sistema de dutos terrestres utilizado para o transporte contínuo de petróleo bruto, pertencente à empresa estatal Petrobrás e operado pela sua subsidiária Transpetro, está localizado no litoral de São Paulo e se estende pelos municípios de São Sebastião, Bertioga, Santos e Cubatão. Conectando o Terminal Marítimo de São Sebastião (TEBAR) e o Terminal de Cubatão, na Baixada Santista, o OSBAT abastece essencialmente a refinaria Presidente Bernardes (RPBC), em Cubatão, e a refinaria Capuava (RECAP), em Mauá.

Esse oleoduto, inaugurado no ano de 1968, é composto por duas linhas de petróleo, comumente enterradas, com 24 polegadas de diâmetro e totalizando 121 Km de extensão; uma linha possui 70,5 km e conecta o TEBAR à Estação de Guaratuba, que funciona como ponto intermediário de bombeamento, enquanto a outra linha possui extensão de 50,5 km e interliga a Estação de Guaratuba ao Terminal de Cubatão (CETESB, 2023).

A área de estudo concentra-se principalmente no primeiro trecho do oleoduto OSBAT (OSBAT 1), sendo a linha que conecta São Sebastião à Guararema e que se estende pelos municípios de São Sebastião e Bertioga (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de Localização do oleoduto OSBAT.



Fonte: Elaborado pela autora

5.2 Contexto geológico regional

A área de estudo compreende os municípios de São Sebastião, no Litoral Norte paulista, e Bertioga, na Baixada Santista, ambos estão inseridos no contexto geológico da Faixa Ribeira ou Orógeno Ribeira (Almeida, 1967, 1969; Cordani *et al.*, 1967, 1973), que é um dos orógenos que compõem a Província Mantiqueira (Almeida *et al.*, 1977, 1981).

A evolução geológica da área é associada ao fechamento do Oceano Adamastor entre 650-510 Ma, sendo decorrente da colisão entre os crátons São Francisco e Congo Ocidental durante a amalgamação do Supercontinente Gondwana (Schmitt *et al.*, 2004; Heilbron *et al.*, 2008; Tupinambá *et al.*, 2012), relacionando-se inclusive à formação da Serra do Mar e à abertura do Oceano Atlântico Sul.

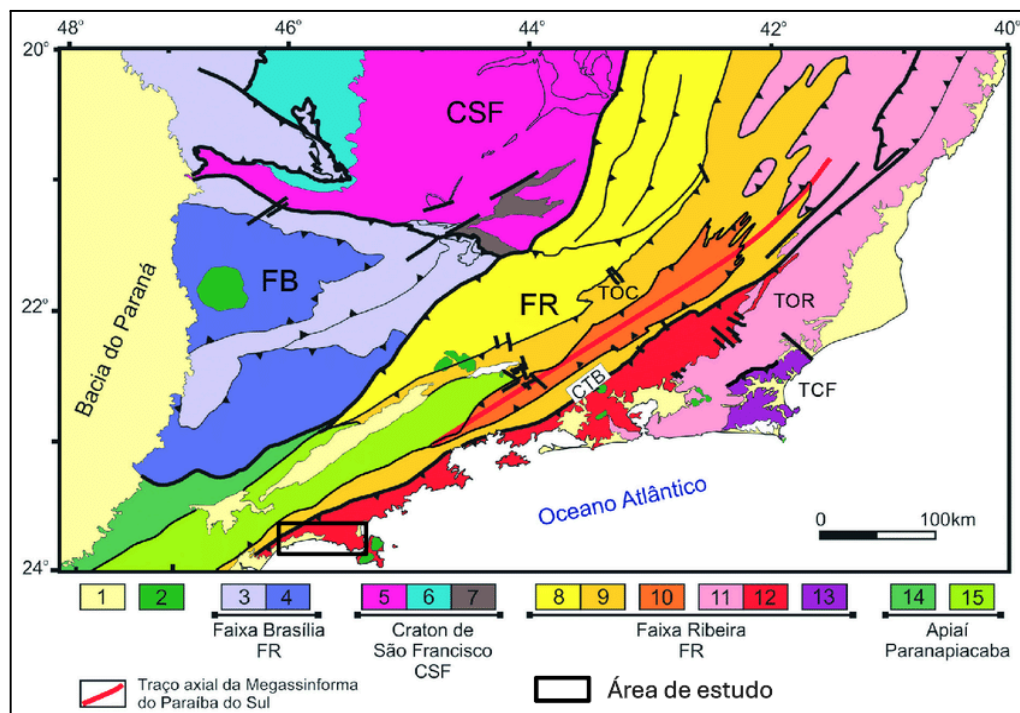
A Faixa Ribeira é composta por um conjunto de terrenos que incluem rochas do embasamento arqueano-paleoproterozoico e coberturas metassedimentares mesoproterozoicas e neoproterozoicas (Heilbron *et al.*, 2004). Apresenta uma

complexa evolução tectônica e magmática, com múltiplos estágios que envolveram magmatismo pré-colisional, colisão continental, magmatismo sin-colisional e deformação pós-colisional. Sendo subdividida, segundo Howell (1989), em cinco terrenos tectono-estratigráficos: os Terrenos Ocidental, Paraíba do Sul, Embu, Oriental e Cabo Frio, estes limitados uns dos outros por extensas zonas de cisalhamento oblíquas transpressivas ou falhas de empurrão (Heilbron *et al.*, 2004), em uma complexa evolução tectônica e magmática, com múltiplos estágios que envolveram magmatismo pré-colisional, colisão continental, magmatismo sin-colisional e deformação pós-colisional.

O estágio pré-colisional da Faixa Ribeira está registrado em rochas do Terreno Oriental e resultou na formação de três arcos magmáticos distintos (Heilbron *et al.*, 2016): Arco Rio Negro, Serra da Bolívia e Serra da Prata; enquanto o primeiro estágio colisional resultou na movimentação tectônica que posicionou os terrenos Paraíba do Sul e Oriental sobre o Terreno Ocidental.

A área de estudo encontra-se pertencente ao Terreno Oriental, na região da unidade geológica Domínio Costeiro (Heilbron; Machado, 2003) ou Terreno Serra do Mar, com composição predominante de duas associações de rochas metassedimentares intrudidas pelo Arco Mágmató Rio Negro (Tupinambá, 1999) (Figura 6).

Figura 6 - Mapa tectônico do segmento central da Faixa Ribeira e do setor meridional da Faixa Brasília, com destaque para área de estudo aproximada.

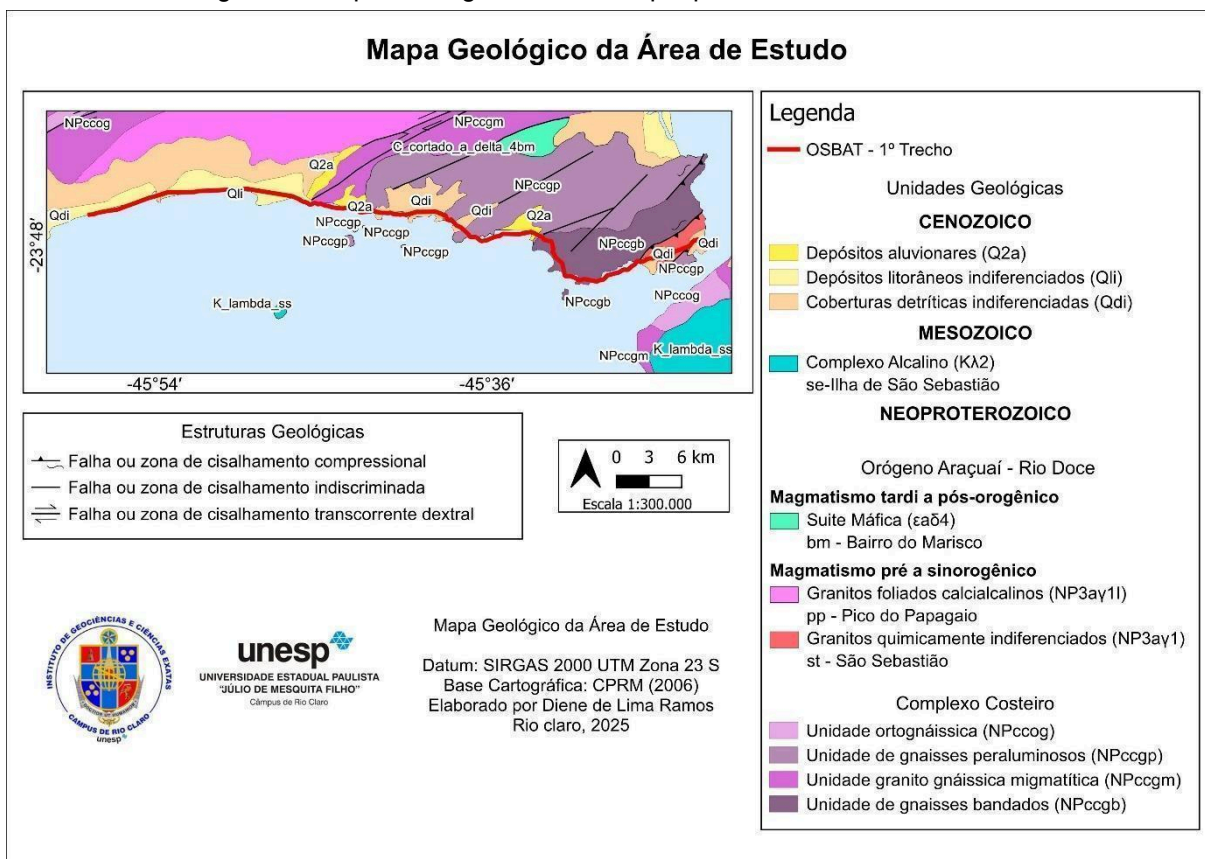


Legenda: 1-Riftes e coberturas cenozoicas; 2-Rochas alcalinas do Cretáceo e Paleoceno; 3-Nappes inferiores; 4-Nappes superiores; 5-Embasamento do CSF e Domínio Autóctone; 6-Supergupo São Francisco; 7-Metassedimentos do Domínio Autóctone; 8-Domínio Andrelândia; 9-Domínio Juiz de Fora; 10-Klippe Paraíba do Sul; 11-Terreno Oriental; 12-Granitoides do Arco Magmático Rio Negro; 13-Terreno Cabo Frio; 14-Terrenos São Roque e Açungui; 15-Terreno Embu. Fonte: adaptado de Almeida *et al.*, 2013.

5.3 Contexto geológico Local

São encontradas a nível local onze Unidades Geológicas descritas pela CPRM e que são apresentadas no mapa da Figura 7. As rochas apresentam idade cenozoica a neoproterozoica, sendo que na área cruzada pelo duto ocorre a predominância das litologias do Complexo Costeiro, Coberturas cenozoicas e do Granito São Sebastião.

Figura 7 - Mapa Geológico com destaque para a área de estudo.



Fonte: Modificado de CPRM, 2006.

O Complexo Costeiro, com idade neoproterozoica, expressa seu limite ao norte, em contato com as rochas do Complexo Embu, através de importante contato tectônico marcado pela falha de Cubatão, enquanto ao sul é limitado pela linha de costa. Apresentando variações dentre suas unidades destaca-se, na região de São Sebastião, como principal estrutura regional tanto com relação aos gnaisses peraluminosos como ao granito gnáissico migmatítico, uma flor positiva gerada por deformação dúctil em regime transpressivo (Campanha e Ens 1993). Essa mesma estrutura é vista no Granito São Sebastião, pertencente aos Granitos quimicamente indiferenciados (NP3ay1) e classificado como monzogranito e granodiorito.

Os Gnaisses Peraluminosos (NPccgp) da região são descritos como paragneisses heterogêneos, predominando os gnaisses kinzigíticos, com composição por plagioclásio, comumente sódico, quartzo, biotita, cordierita, sillimanita e porfiroblastos de granada junto a estruturas migmatíticas. Enquanto o granito gnáissico migmatítico (NPccgm), compreende composição de plagioclásio, quartzo, microclínio, biotita e hornblenda, adquirindo uma orientação dada pelos cristais de feldspato e minerais micáceos (Dias Neto, 2001). O corpo localizado no

bairro de Jaquehy em São Sebastião, foi descrito por Maffra (2000) como augen gnaiss Juqueí, correspondendo a um álcali-feldspato granito e estendendo-se a Leste até um contato transicional com o complexo Gnáissico/Migmatítico, possui aproximadamente 8 km de extensão.

Os Gnaisses bandados (NPccgb), ocorrem nas proximidades da cidade de São Sebastião, sendo descritos como biotita gnaisses e migmatitos com frequentes intercalações de anfibolitos. Paralelamente ao bandamento gnáissico sub-horizontal, desenvolve-se uma foliação milonítica, caracterizada pelo estiramento de porfiroclastos de feldspato potássico e orientação de biotitas. Esses Indicadores cinemáticos sugerem transporte para SE, em um componente de cavalgamento (Passarelli, 2001).

Encobrimo o embasamento e com idade Cenozoica, ocorrem os Depósitos Aluvionares (Q2a), descritos como depósitos de margens, fundos de canal e planícies de inundação de rios, resultantes dos processos de erosão, transporte e deposição a partir de diversas áreas de fonte. Esses depósitos são caracterizados por sua natureza heterogênea, na sua composição encontram-se areia, cascalho, argila e silte, refletindo a dinâmica fluvial e a energia do ambiente de deposição (Pettijohn, 1975).

Os Depósitos Litorâneos Indiferenciados (Qli), são considerados depósitos arenosos de cordões regressivos com sedimentos argilo-arenosos de origem flúvio lagunar, aos quais podem estar associados sambaquis e sedimentos de mangues, em margens de lagunas e no curso inferior de rios (Suguio e Martin 1978). Nas praias mais extensas, situadas a oeste do mapa, os sedimentos são de granulação mais fina e predominantemente quartzosos. (CPRM, 2006).

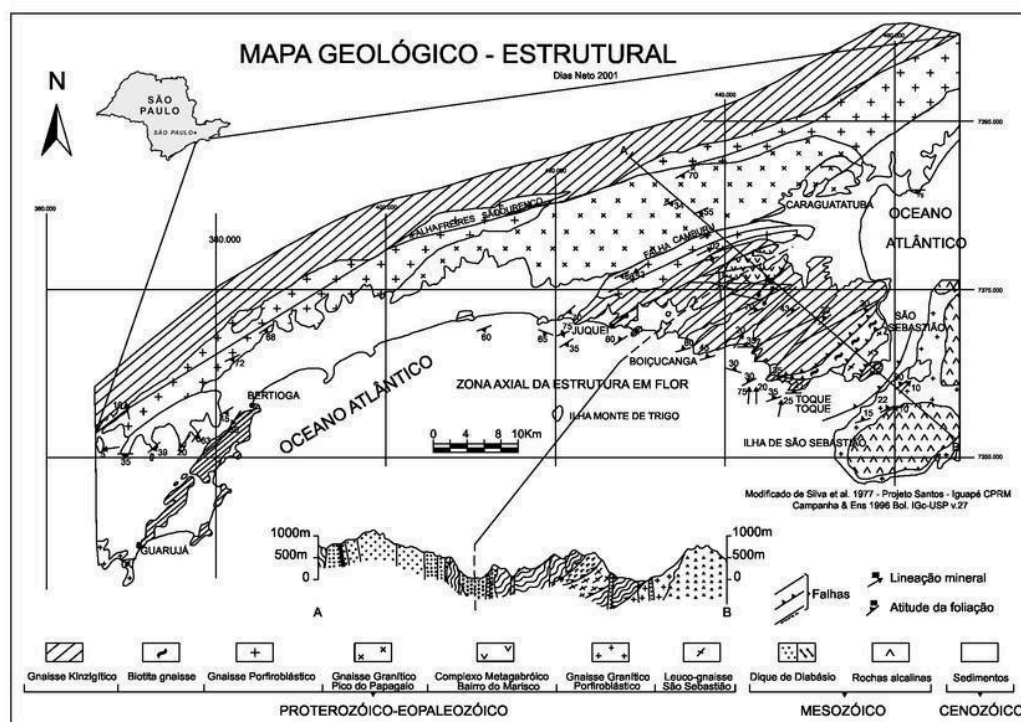
Os Depósitos detríticos indiferenciados (Qdi), conforme descrito por Lacerda (2000), são definidos como uma fase de retrabalhamento dos sedimentos de natureza arenosa, compostos essencialmente por areia, argila e cascalho. Relacionam-se a superfícies de aplainamento formando terraços com diferentes níveis de material transportado e ferruginosos, ocorrem ao pé da Serra do Mar onde há intensa atividade de escorregamento e erosão. (CPRM, 2006).

5.4 Estruturas geológicas

A área de estudo apresenta importantes estruturas geológicas (Figura 8), associadas ao Orógeno Ribeira, tal qual a Zona de Cisalhamento Camburu (ZCC) e

o Sistema de Cavalcamento São Sebastião (SCSS) (Maffra, 2000). Estas estruturas formam uma estrutura em flor positiva, como resultado do caráter transpressivo do Orógeno (Ebert *et al.*, 1993; Machado, Endo, 1993), afetando a região e favorecendo a formação de figuras anastomosadas, como apresentado por Carneiro *et al* (1979).

Figura 8 - Mapa geológico-estrutural e corte geológico simplificado caracterizando a estrutura em flor.

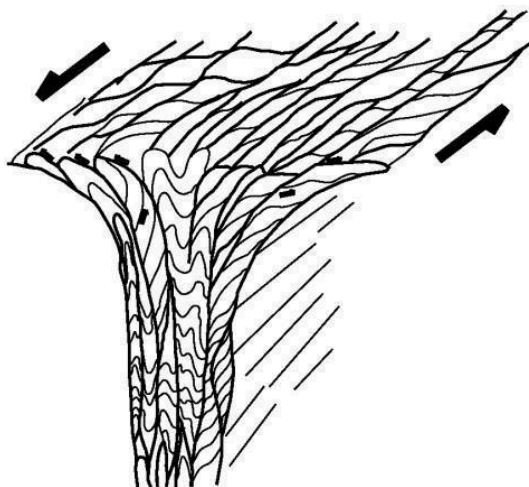


Fonte: Adaptado de Dias Neto, 2001

De acordo com Dias Neto (2006), a estrutura em flor é assimétrica com o flanco SE mais bem desenvolvido, apresentando foliações em posição vertical na zona axial da estrutura que se abrem "em leque" (Figura 9), com mergulhos gradualmente menores, sendo que chegam a posições horizontalizadas, em São Sebastião.

Na Zona de Cisalhamento Camburu (ZCC), a foliação ocorre com atitude subvertical e o mergulho passa de SE para NW, enquanto o Sistema de Cavalcamento São Sebastião (SCSS) manifesta lineações com uma orientação oblíqua e sugerem um transporte tectônico oblíquo para SSE (Maffra, 2000).

Figura 9 - Esquema simplificado demonstrativo da estrutura em flor.



Fonte: Adaptado de Dias Neto et al. (2006)

5.5 Nível d'água (NA)

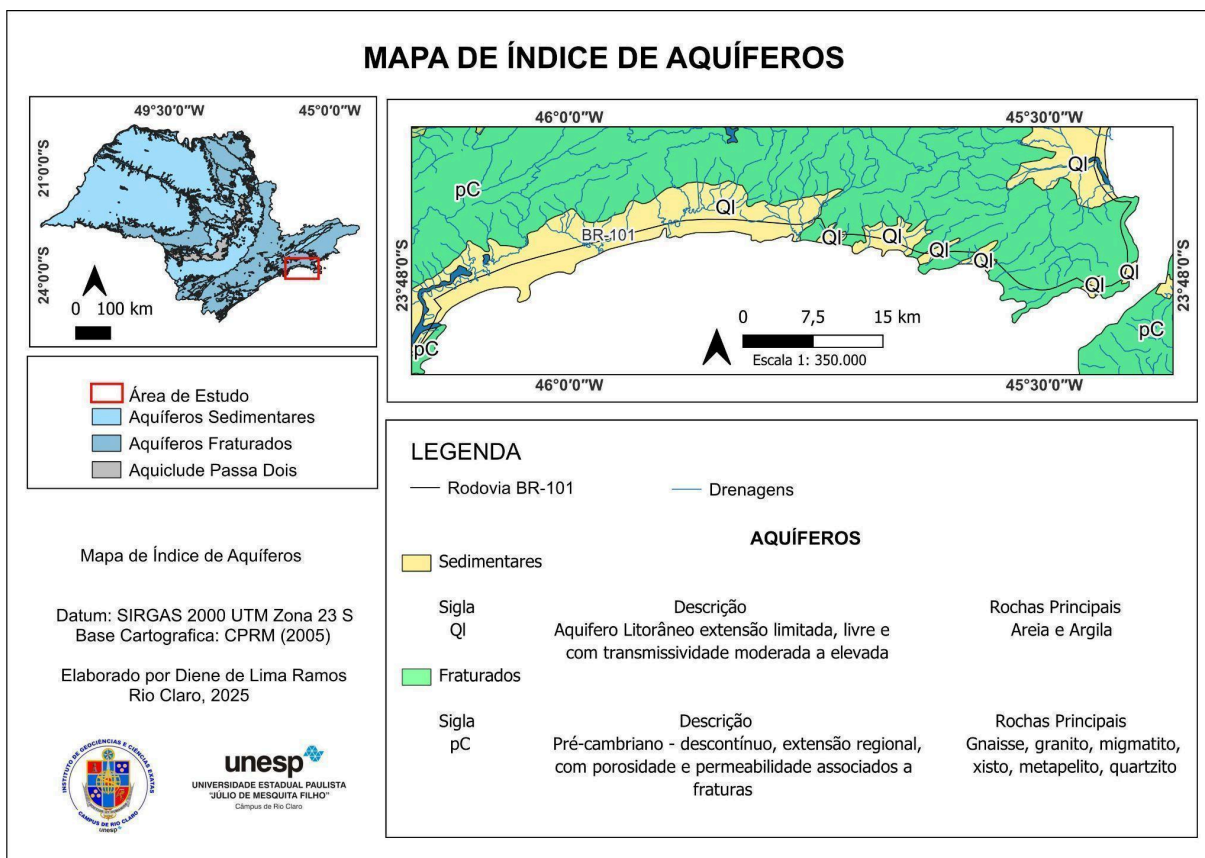
O nível de água de uma região representa sua superfície freática, ou seja, a interface entre a zona vadosa (não saturada) e a zona saturada do solo, sendo usualmente controlado por uma combinação de fatores hidrológicos, geológicos, climáticos e antrópicos. Trata-se de uma variável extremamente importante na investigação da sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo, tendo em vista que o óleo ao entrar em contato com a água subterrânea gera contaminação e torna-a inutilizável para os seres vivos, além de que por consequência de suas características de imiscibilidade e sua densidade ele também pode ser transportado aumentando a escala da área afetada.

A área de estudo possui uma hidrografia rica e diversificada, pertencente tanto à Bacia Hidrográfica da Baixada Santista como à Bacia Hidrográfica do Litoral Norte, além de compreender um dos principais rios da região, o rio Guaratuba, e muitos outros menores. Os altos e médios cursos dos rios que nascem na Serra do Mar apresentam características torrenciais em contraste com os principais rios que drenam a planície litorânea, sendo que a água superficial infiltra em dois aquíferos com características bem distintas: Aquífero Litorâneo e Aquíferos Fraturados Pré-Cambrianos (Figura 10).

De acordo com Engelbrecht (2017), as zonas de recarga dos aquíferos estão associadas aos altos topográficos e são influenciadas pela duração e intensidade da

precipitação, além das características do manto de intemperismo como a espessura, extensão e o tipo de material do solo. Nesse contexto, Larsson (1984) afirma que os horizontes intempéricos que possuem alta porosidade e baixa permeabilidade, armazenam um volume considerável de água, que a partir do qual serão lentamente drenados para o aquífero mais profundo.

Figura 10 - Mapa de índice de aquíferos



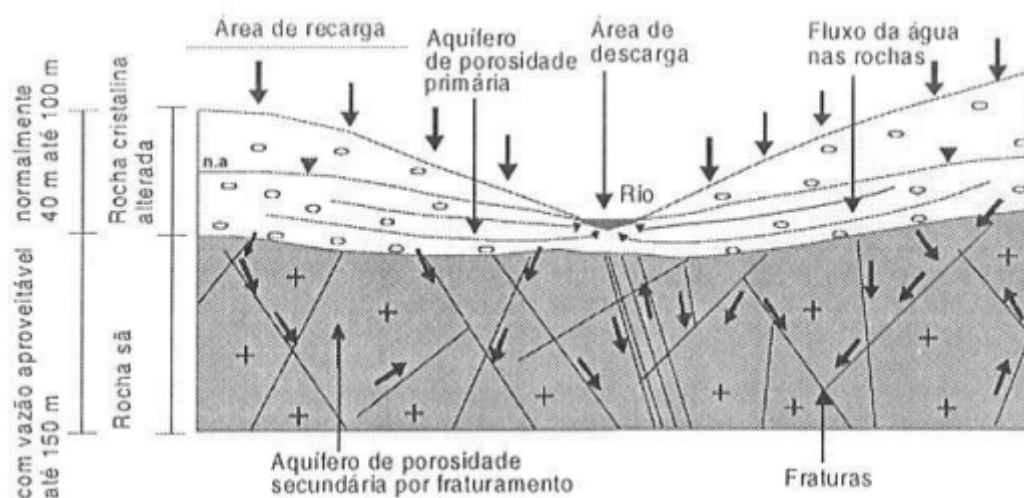
Fonte: CPRM, 2005. Adaptado pela autora

O aquífero litorâneo na região distribui-se irregularmente ao longo da costa ocupando uma faixa estreita com espessura variável, sendo segmentado pelas rochas do embasamento pré-Cambriano, é caracterizado por depósitos de sedimentos variados, intercalados e compostos por arenitos, siltitos, areias com camadas de argila depositadas em ambiente marinho; areias e argilas depositadas em ambiente continental; e areias litorâneas (Iritani; Ezaki, 2012).

Os aquíferos fraturados, compreendem o Complexo Costeiro e granitos localizados na serra, na região destaque-se as seguintes unidades: gnaisses bandados, gnaisses peraluminosos, granito gnáissica migmatítica, ortognáissica e o Granito São Sebastião (granito quimicamente indiferenciado) (CPRM, 2005). Essas rochas possuem granulação grossa e composição ácida, ocasionando a formação

de horizontes arenosos no manto de intemperismo espesso (Figura 11), que facilitam os processos de recarga (Cavalcante, 1990; Foster, 2012), além de desenvolver extensos sistemas de fraturas abertas (Johnson, 1998).

Figura 11 - Esquema geral de um aquífero fraturado.



Fonte: Adaptada de Hirata e Ferreira (2001)

5.6 Geomorfologia

Almeida (1964), classificou o estado de São Paulo em províncias, zonas e subzonas, em função das diferentes fisionomias morfológicas e embasamento geológico observados. Baseado em seu estudo ocorreu a produção da Carta Geomorfológica do estado de São Paulo (1981), elaborada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), onde a área de estudo se encontra pertencente à Província Costeira com trechos do Planalto Atlântico.

O Planalto Atlântico, segundo Almeida (1964), possui 11 zonas diferentes essencialmente localizadas nos níveis topográficos mais elevados, tendo em vista que os limites entre a Província Costeira e o Planalto Atlântico se dão na região da Serra do Mar, a partir das transições marcantes do relevo representadas pelas escarpas. Regionalmente destacam-se a zona do Patamar de Paraitinga e do Planalto de Salesópolis, apresentando formas de topo convexas, elevada densidade de canais de drenagem e vales profundos (Ross; Moroz 1997).

A Província Costeira é comumente separada em duas zonas, uma descontínua, denominada Baixadas Litorâneas, que se apresentam como “terrenos não mais elevados que 70m sobre o mar, dispostos em áreas descontínuas à

beira-mar.” (Almeida, 1964, p. 225). E outra contínua, denominada Serrania Costeira, que foi subdividida nas subzonas Serra de Paranapiacaba e Serra do Mar, sendo que esta última é classificada como:

“à área do estado drenada diretamente para o mar, constituindo o rebordo do Planalto Atlântico. É, em maior parte, uma região serrana contínua, que à beira-mar cede lugar a uma sequência de planícies de variadas origens.” (ALMEIDA, 1974, p. 220).

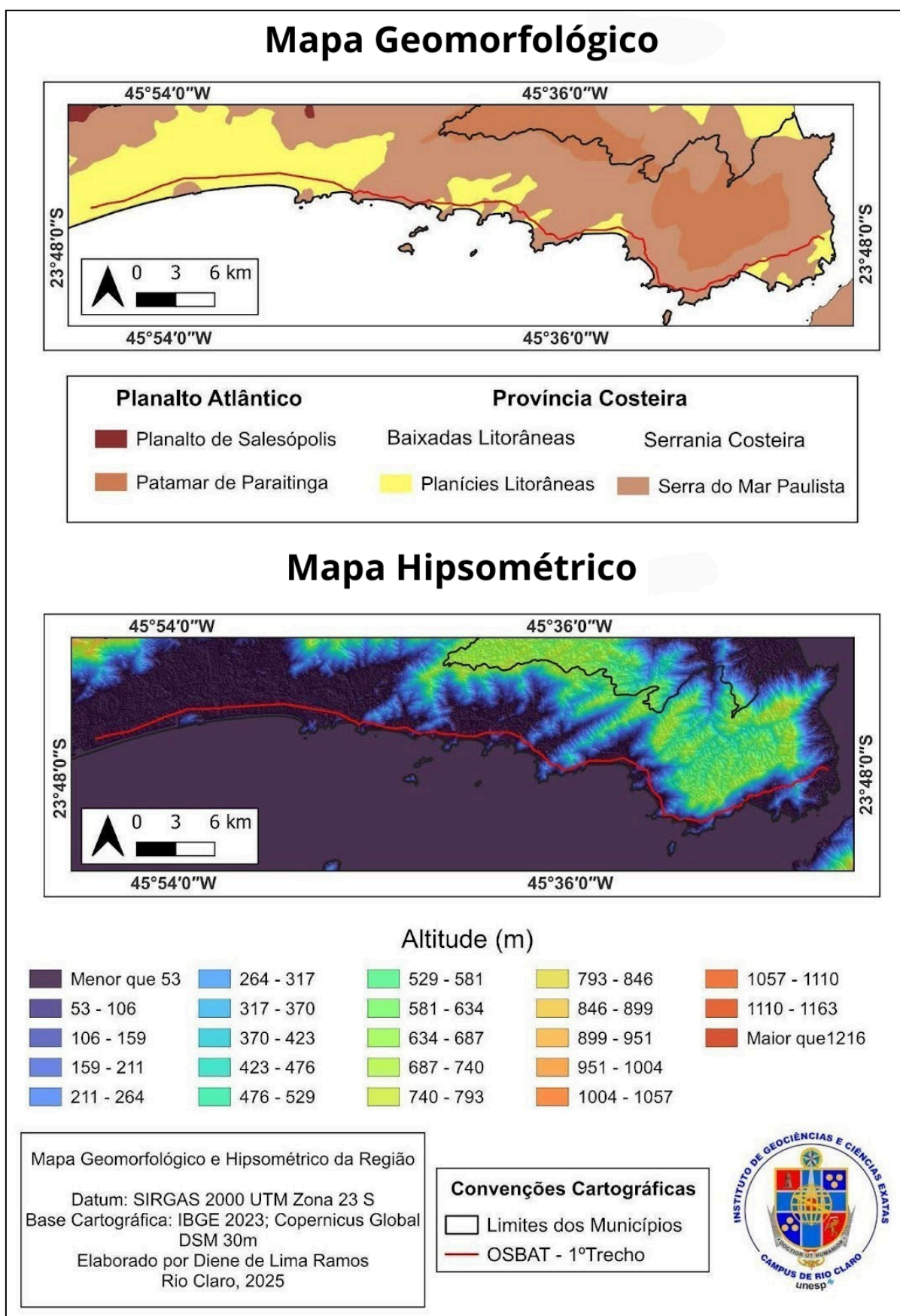
A Serra do Mar é caracterizada como uma escarpa erosiva com altura aproximada de 1.000 metros, em sua divisa com o Planalto é marcada pelo falhamento de Cubatão, funcionando como o divisor de águas entre a drenagem atlântica e a que se dirige para o interior do estado de São Paulo (Almeida, 1964). Ela provém de duas formações geológicas: ao sul é encontrada, junto com a falha, uma predominância de rochas metamórficas mais antigas do complexo costeiro, e ao norte, rochas metamórficas mais recentes do grupo Açungui (Santos, 2004).

Associadas a essa forma de relevo, a região apresenta vegetação ombrófila-densa, restinga, campos montanhosos, manguezais e várzeas, pertencente ao bioma de Mata Atlântica (Vieira; Gramani, 2015) com solos ácidos e pobres em nutrientes.

A Baixada Litorânea domina grande parte da área de estudo, sendo formada principalmente pelas planícies litorâneas e apresentando características de deposição de sedimentos em ambientes marinhos, estuarino lagunares, lacustres e fluviais, formados durante o Pleistoceno e o Holoceno. De acordo com Afonso (2006), a formação dessas planícies se relaciona com processos de sedimentação das aluviões terrestres provenientes da Serra do Mar, da sedimentação marinha, que deram origem aos cordões arenosos, praias e dunas; e com a sedimentação flúvio lagunar antiga e recente, que constituíram os manguezais.

As altitudes gerais identificadas na área de estudos e correlacionadas com a classificação de Almeida (1964), (Figura 12), baseiam-se nos dados obtidos pelo Satélite TanDEM-X, que gerou o Modelo Digital de Elevação SRTM, que possibilita uma correlação com as cotas esperadas para a geomorfologia descrita anteriormente.

Figura 12 - Mapa Geomorfológico e Hipsométrico da região da Área de Estudo



Fonte: Elaborado a partir de dados do IBGE (2023).

5.7 Uso e ocupação do Solo

O IBGE (2018) classifica as coberturas e os usos da terra em 14 categorias distintas, sendo que a área de estudo, como ilustrada na Figura 13, é caracterizada pelas seguintes classes:

A Área artificial, definida por superfícies antrópicas não-agrícolas, estruturadas por edificações e sistema viário, incluindo áreas urbanizadas (metrópoles, cidades e vilas), as aldeias indígenas e comunidades quilombolas, além de áreas ocupadas por complexos industriais e comerciais. Também incluindo áreas de mineração, por meio de lavra ou garimpo.

A pastagem com manejo, corresponde a áreas destinadas ao pastoreio que sofreram interferências antrópicas de alta intensidade, resultando na descaracterização da cobertura natural local. Essas interferências ocorrem através de práticas de ações como o plantio, limpeza da terra (destocamento e despedramento), aplicação de herbicidas para a eliminação de ervas daninhas, adubação, gradagem, calagem entre outras atividades.

O mosaico de ocupações em área florestal representa regiões de atividades agrícolas mistas, onde se utilizam diferentes sistemas de utilização do solo como a pastagem e a silvicultura associada, combinadas ou isoladas. Essas áreas não apresentam remanescentes significativos de cobertura florestal nativa.

A silvicultura refere-se a territórios marcados pelos plantios florestais de espécies exóticas ou nativas como monocultura, de acordo IBGE (2018), enquanto que a vegetação florestal é ocupada por formações arbóreas com porte superior a 5 metros de altura, incluindo-se aí as áreas de Floresta Ombrófila Densa, de Floresta Ombrófila Aberta, de Floresta Estacional, além da Floresta Ombrófila Mista, juntamente incluindo as Savanas e Campinaranas Florestadas, os Manguezais e os Buritizais, conforme o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2013).

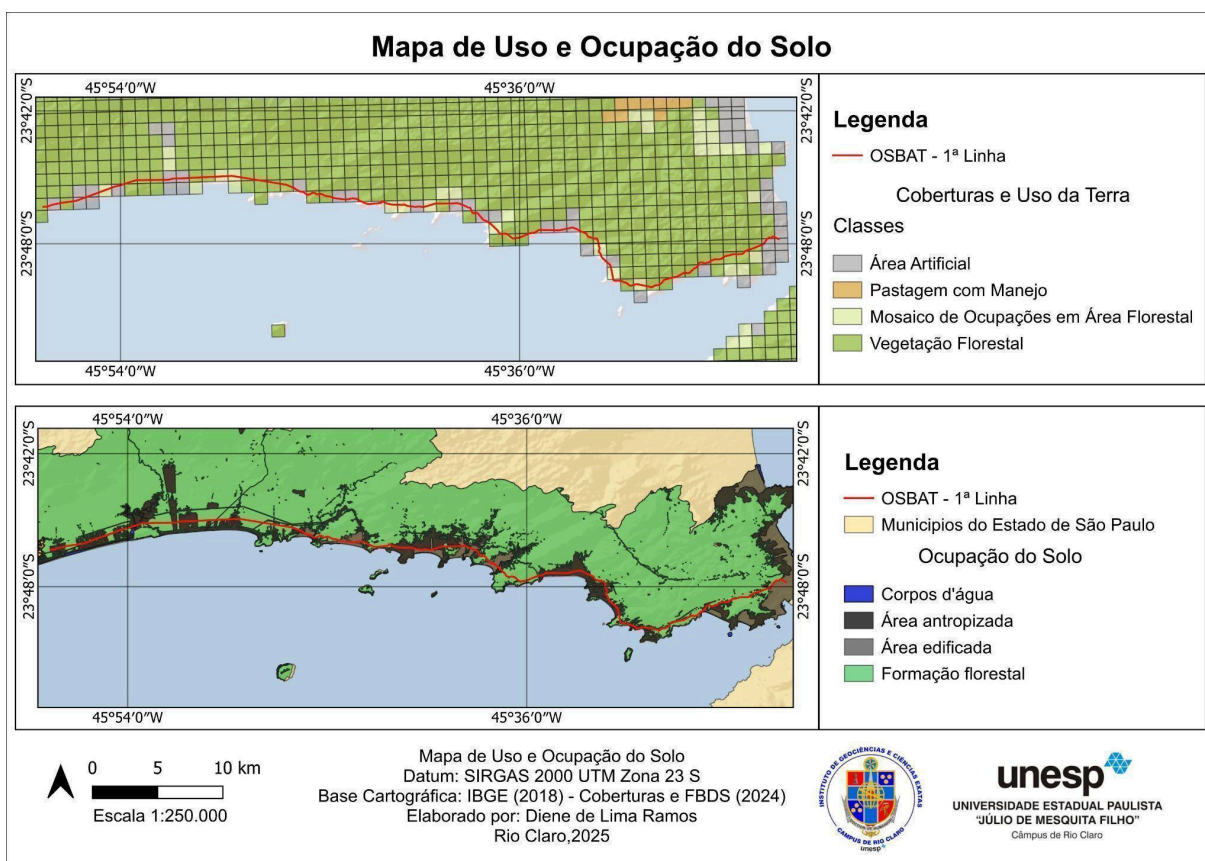
O corpo d'água continental, conforme IBGE (2018), abrange todas as águas interiores, como rios, riachos, canais e outros corpos d'água lineares. Também engloba corpos d'água naturalmente fechados (lagos naturais) e reservatórios artificiais, exceto tanques de aquicultura.

Entretanto para a realização deste trabalho foi utilizada a classificação da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), que integra os dados do IBGE e do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), resultando em informações mais precisas e classes mais simplificadas. Nessa

classificação observam-se 4 categorias na área de estudo, sendo que a Formação florestal e os Corpos d'água concordam com a descrição do IBGE, enquanto a Área edificada engloba superfícies artificiais, não permeáveis e coberta por construções humanas de grandes proporções, tais quais edifícios, prédios, casas e outras estruturas permanentes.

As áreas antropizadas são regiões em que as características originais foram alteradas pela ação humana, abrangendo a supressão de vegetação, a mudança no relevo, a construção de infraestruturas menores e outras atividades que modificam o meio ambiente.

Figura 13 - Mapa de Uso e Ocupação das áreas de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

6 RESULTADOS

As variáveis analisadas na área de estudo foram classificadas em intervalos que compõem as sensibilidades parciais, discutidas no capítulo de Metodologia. Foram atribuídos pesos que representam a sensibilidade parcial de cada classe, em cada critério utilizado: Litologia, Declividade, Uso e Ocupação do Solo, Estruturas geológicas e profundidade do Nível d'água.

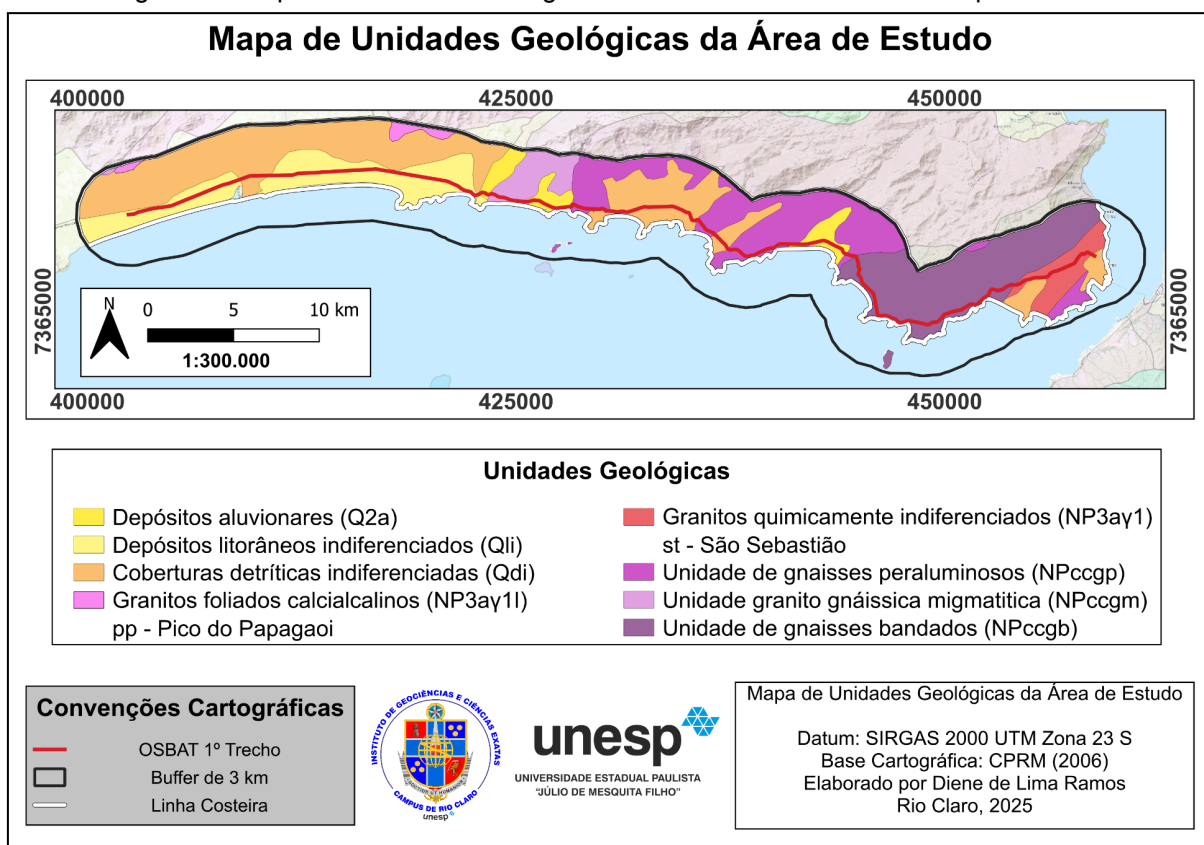
6.1 Litologia

Observa-se na Figura 14, que o oleoduto OSBAT atravessa diretamente sete unidades geológicas distintas, realizando grande parte de seu trajeto em rochas sedimentares (55,5%), caracterizadas por uma elevada permeabilidade e porosidade, uma parte dele em rochas metamórficas (37,1%) e uma pequena porção em rochas ígneas (7,4%).

Ao analisar a área delimitada pelo buffer, definido com extensão de 3 km em relação ao oleoduto e abrangendo 400,4 km², constata-se que 150,5 km² corresponde ao oceano. O restante da área é distribuído entre oito unidades geológicas, incluindo os Granitos Foliados Calcialcalinos (NP3ay1I) que, embora não sejam atravessados diretamente pelo oleoduto, estão presentes na região do buffer (Tabela 1).

Dessa forma, a composição geológica da área ao longo do buffer é representada majoritariamente por rochas sedimentares (51,7%), seguida por rochas metamórficas (43,1%) e, em menor porção, rochas ígneas (5,2 %).

Figura 14: Mapa de Unidades Geológicas da área de estudo demarcada pelo buffer



Fonte: Modificado de CPRM (2006).

Tabela 1- Distribuição das unidades geológicas contidas no buffer.

Litologia	Área (km ²)	Porcentagem (%)
Depósitos aluvionares (Q2a)	10,86	4,4
Depósitos litorâneos indiferenciados (Qli)	33,87	13,5
Coberturas detríticas indiferenciadas (Qdi)	84,48	33,8
Granitos foliados calcialcalinos (NP3ay1I)	3,22	1,3
Granitos quimicamente indiferenciados (NP3ay1)	9,75	3,9
Unidade de gnaisses peraluminosos (NPccgp)	48,25	19,3
Unidade granito gnáissica migmatítica (NPccgm)	10,23	4,1
Unidade de gnaisses bandados (NPccgb)	49,23	19,7

Fonte: Elaborado pela autora.

As classificações de sensibilidade parcial atribuídas às diversas unidades geológicas/litológicas são apresentadas na Tabela 2, dispostas em ordem decrescente, da maior para a menor sensibilidade.

Tabela 2 - Classificação da Sensibilidade Parcial da litologia.

Litologia	Unidade	Descrição	Classificação da Sensibilidade Parcial
Rocha Sedimentar	Depósitos aluvionares (Q2a)	Areia, areia quartzosa, cascalheira, silte e argila	3
	Depósitos litorâneos indiferenciados (Qli)	Areia, silte, argila	
	Coberturas detriticas indiferenciadas (Qdi)	Areia, silte, argila e cascalho inconsolidados	
Rocha Metamórfica	Unidade Ortognáissica (Npccog)	Ortognaisse migmatítico cálcio-alcálico	2
	Unidade de gnaisses peraluminosos (NPccgp)	Gnaisse kinzigítico com núcleos antigos	
	Unidade granito gnáissica migmatítica (NPccgm)	Hornblenda-biotita gnaisse (grenitóide porfiróide)	
	Unidade de gnaisses bandados (NPccgb)	Gnaisse migmatito de composição monzogranítica	
Rocha Ígnea	Granitos foliados calcálicos (NP3ay1I)	Granito-gnaisse com forte foliação e composição hornblenda-biotita.	2
	Granitos quimicamente indiferenciados (NP3ay1)	Granitoides gnaissificados com faciais félsicas	1

Fonte: Elaborado pela autora.

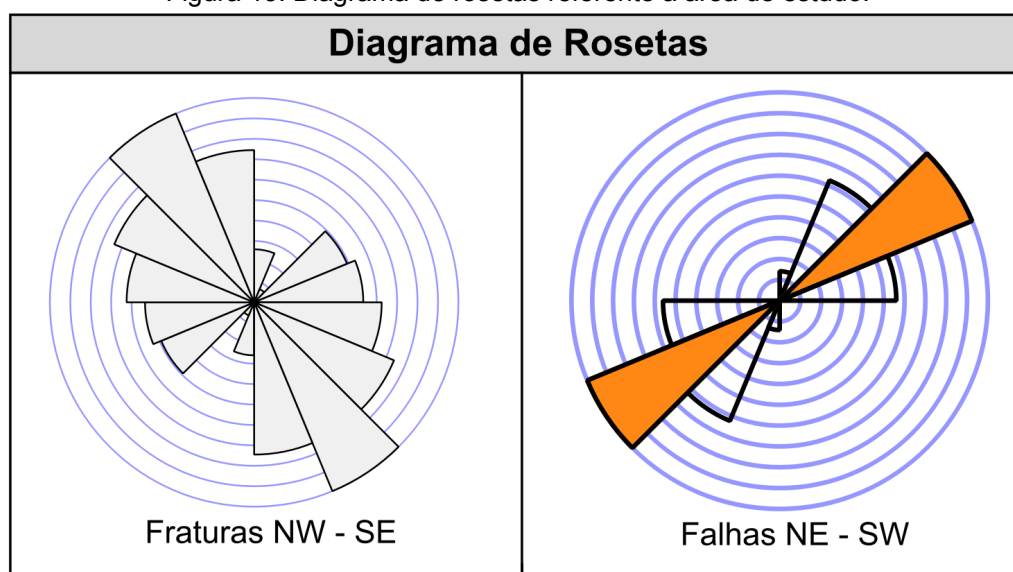
6.2 Estruturas Geológicas

As estruturas geológicas extraídas têm suas direções mostradas na Figura 15, no diagrama de rosetas, onde se observa que as fraturas são em maioria NW-SE, enquanto as falhas possuem direção NE-SW.

O mapa de densidade de fraturas (Figura 16) apresenta as estruturas geológicas extraídas em conjunto com a distribuição espacial da densidade. É evidente que as maiores densidades estão intimamente relacionadas às rochas cristalinas, visto que tais fraturas apresentam-se em cerca de 77,8% nessas regiões enquanto apenas 22,2% se encontram nas rochas sedimentares. No caso das

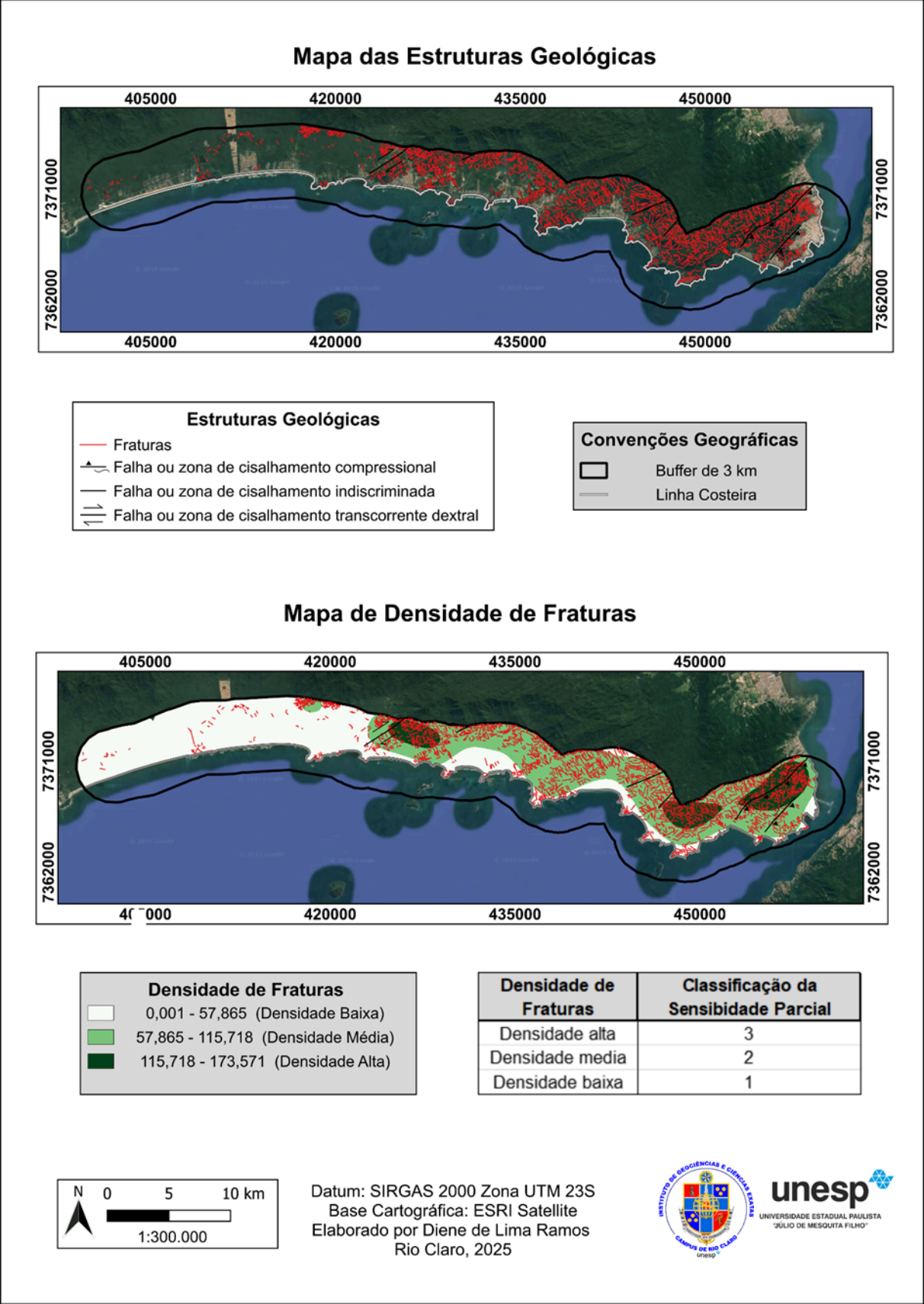
rochas cristalinas, quanto maior a densidade de estruturas, maior a permeabilidade, que favorece a infiltração do óleo no subsolo. No caso das rochas sedimentares, a permeabilidade é controlada pela granulometria, sendo maior nas areias do que nas argilas. No caso da área de estudo, porém, em cada unidade sedimentar ocorrem diversas granulometrias associadas, de forma que todas receberam o mesmo peso, do que decorre a mesma sensibilidade parcial.

Figura 15: Diagrama de rosetas referente à área de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 16: Mapa das estruturas geológicas e mapa da densidade de fraturas.



Fonte: Elaborado pela autora.

As classificações de sensibilidade parcial atribuídas às variações de densidade são apresentadas na Tabela 3, dispostas em ordem decrescente, da maior para a menor sensibilidade.

Tabela 3 - Classificação da Sensibilidade Parcial da Densidade de Estruturas geológicas

Densidade de Fraturas	Classificação da Sensibilidade Parcial
Densidade alta	3
Densidade media	2
Densidade baixa	1

Fonte: Elaborado pela autora.

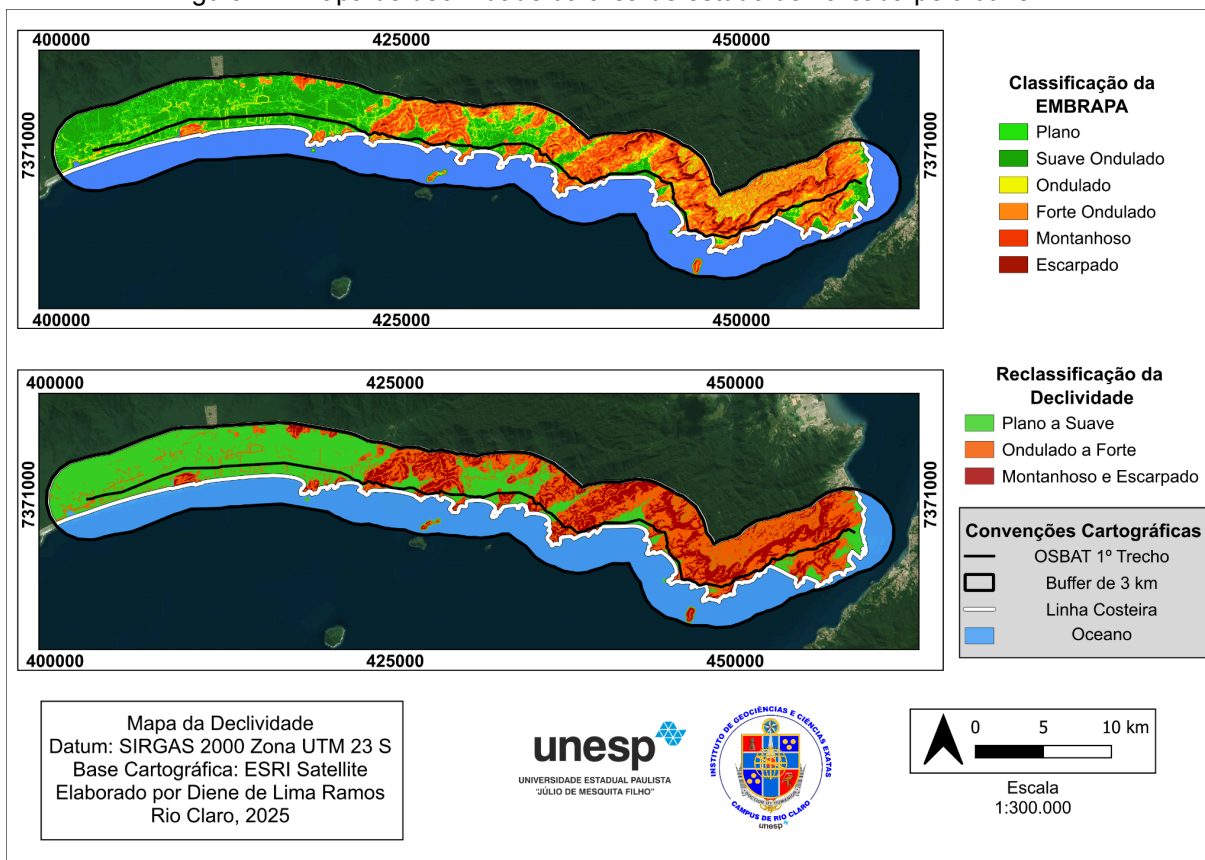
6.3 Declividade

O oleoduto OSBAT percorre trechos correspondentes a unidades geomorfológicas distintas como o Planalto Atlântico, Patamar Paraitinga, e à Província Costeira, incluindo as Planícies Litorâneas e a Serra do Mar Paulista. As classes de declividade observadas refletem de forma significativa essas variações de relevo, uma vez que resultam do intemperismo prolongado sobre as litologias aflorantes associadas a cada unidade geomorfológica.

Em termos de declividade, 45,2 % da área apresenta-se em relevo plano a suave ondulado (0-8%), regiões pertencentes às Planícies Litorâneas caracterizadas pela predominância das rochas sedimentares. Enquanto a região do Patamar Paraitinga apresenta domínio do relevo ondulado a forte ondulado (8-45%). Por outro lado, as áreas pertencentes à Serra do Mar contêm uma combinação do relevo ondulado a forte ondulado (8-45%) e montanhoso a escarpado (maior que 45%). (Figura 17)

Consequentemente, cerca de 34,8% do terreno é classificado como de declividade média, enquanto apenas 20% correspondem a áreas de declividade elevada. Dessa forma, a maior parte do duto localiza-se em áreas de baixa declividade, de acordo com a reclassificação elaborada para a pesquisa, implicando que o óleo provavelmente se acumulará nessas regiões, resultando na maior classificação de sensibilidade e seguindo um padrão decrescente como observado na Tabela 4.

Figura 17- Mapa de declividade da área de estudo demarcada pelo buffer.



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 - Classificação da Sensibilidade Parcial da Declividade.

Declividade (EMBRAPA, 2018)		Reclassificação da Declividade		Classificação da Sensibilidade Parcial
Plano	0 - 3%	Plano e Suave	0 - 8%	3
Suave Ondulado	3 - 8 %	Ondulado a Forte Ondulado	8 - 45%	2
Ondulado	8 - 20%	Montanhoso e Escarpado	45 - 90%	1
Forte Ondulado	20 - 45%	-----	-----	-----
Montanhoso	45 - 75%	-----	-----	-----
Escarpado	75 - 90%	-----	-----	-----

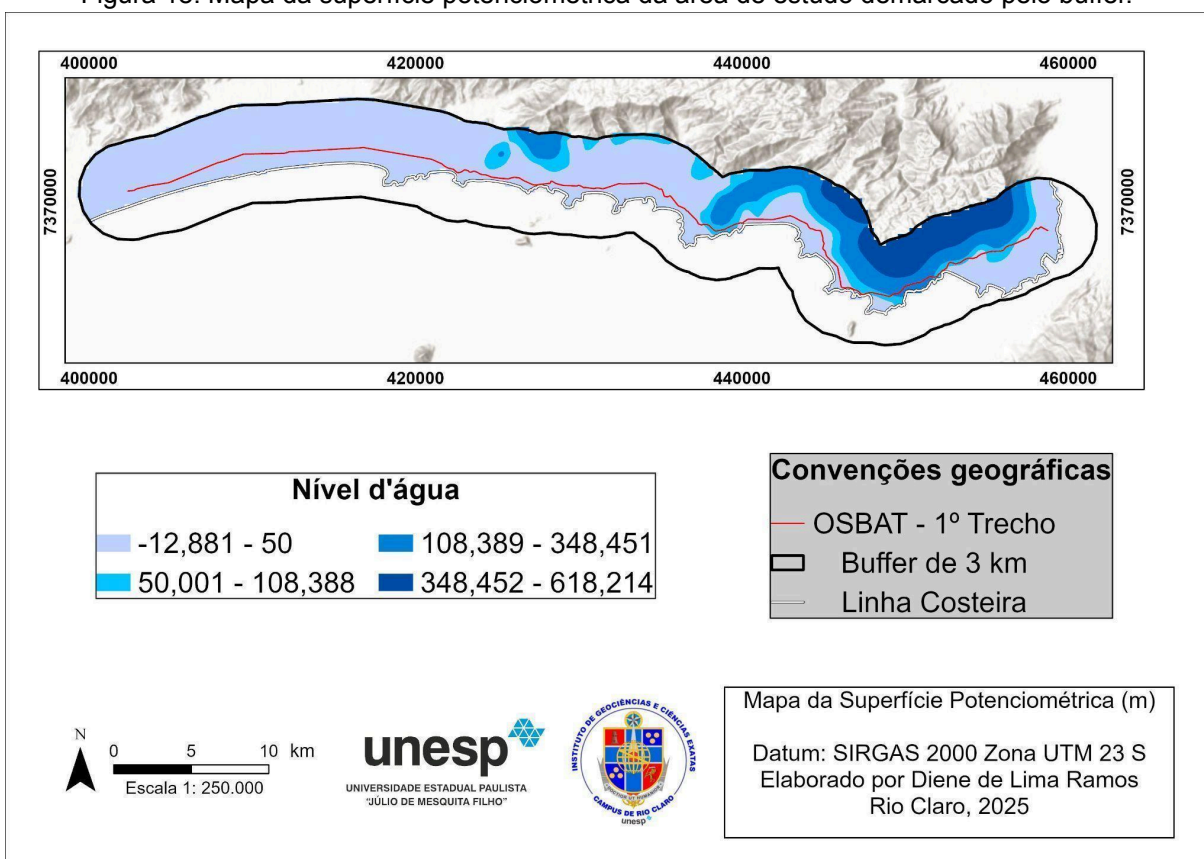
Fonte: Elaborado pela autora.

6.4 Profundidade do Nível d'água (NA)

Para obter a variável de profundidade do nível d'água, foi necessário primeiramente desenvolver o Mapa da Superfície Potenciométrica da região (Figura 18). Com base neste mapa, é possível prever o fluxo hidráulico nas rochas em subsuperfície e identificar zonas de recarga onde a água infiltra no solo, o que auxilia na definição das áreas onde o óleo tem maior possibilidade de penetrar em subsuperfície, em caso de acidente com derramamentos.

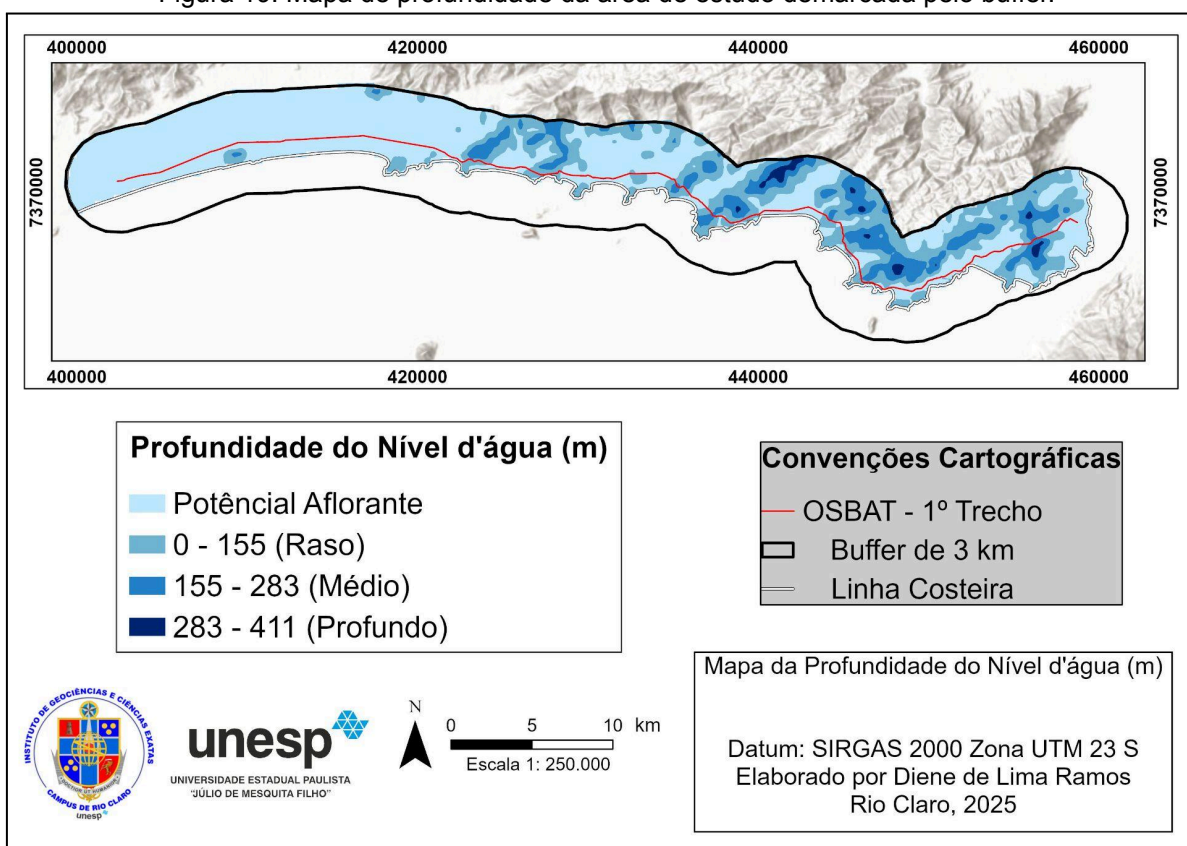
A partir dele, é gerado o Mapa de Profundidade do Nível d'água (Figura 19). Onde observa-se que porções classificadas como “NA provável aflorante” são locais em que a declividade é menor, predominantemente apresentam menor cota altimétrica onde a água percola mais facilmente, enquanto as regiões associadas a Serra do Mar contêm de média a elevada profundidade em consequência de sua elevada altitude.

Figura 18: Mapa da superfície potenciométrica da área de estudo demarcado pelo buffer.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 19: Mapa de profundidade da área de estudo demarcada pelo buffer.



Fonte: Elaborado pela autora.

As classificações de sensibilidade parcial atribuídas às diversas profundidades são apresentadas na Tabela 5, dispostas em ordem decrescente, da maior para a menor sensibilidade.

Tabela 5 - Classificação da Sensibilidade Parcial da Profundidade do Nível d'água (m).

Profundidade do Nível d'água (m)	Classificação da Sensibilidade Parcial
Provável Aflorante	3
Raso (0 - 155)	3
Médio (155 - 283)	2
Profundo (283 - 411)	1

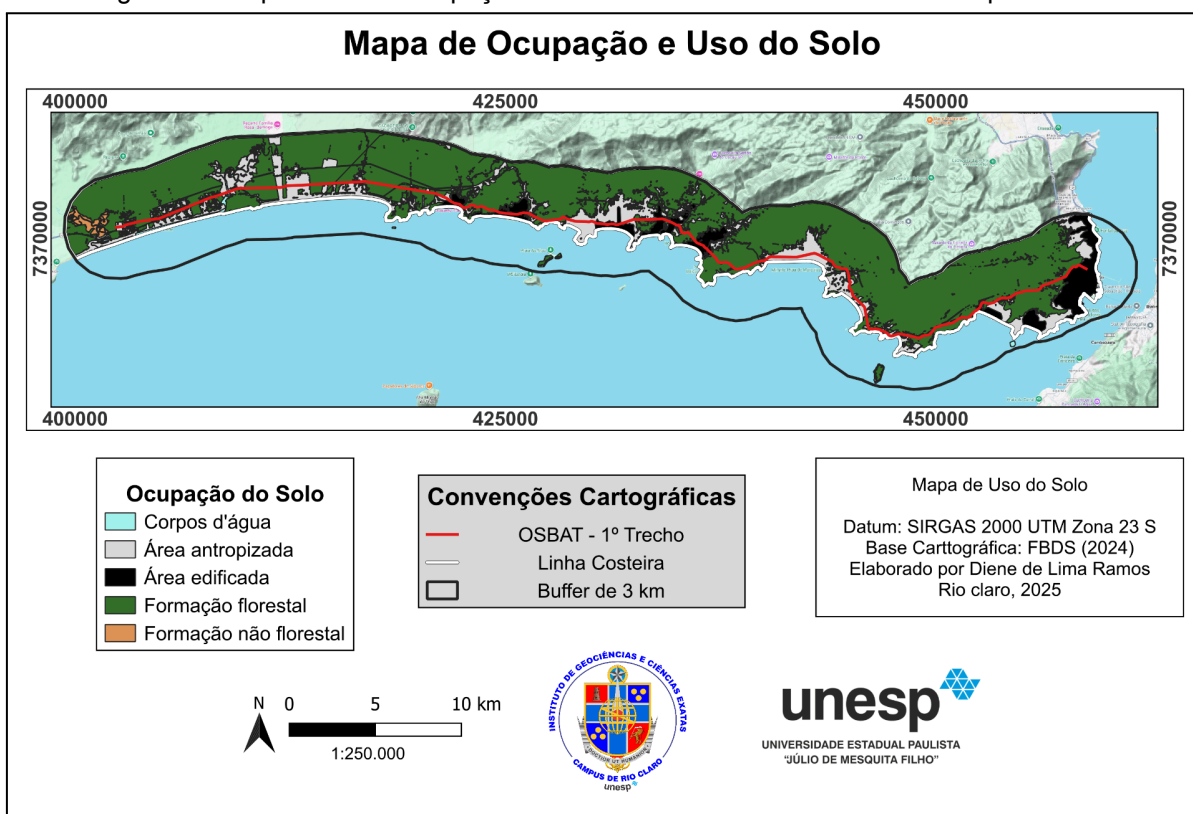
Fonte: Elaborado pela autora.

6.5 Uso e Ocupação do Solo

O uso do solo foi extraído dos levantamentos realizados pelo FBDS (2024), (Figura 20), observa-se que 72,5% da superfície da área de estudo é representada pela vegetação florestal da Mata Atlântica, sendo classificada como uma área de maior sensibilidade, junto com os corpos hídricos da região.

A área edificada foi atribuída à menor sensibilidade, por consequência de sua alta impermeabilização, ocupando cerca de 6,9% da região. A formação não florestal e a área antropizada, por sua vez, representam a sensibilidade média.

Figura 20- Mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo demarcada pelo buffer.



Fonte: Elaborado pela autora.

As classificações de sensibilidade parcial atribuídas às diversas formas de ocupação são apresentadas na Tabela 6, dispostas em ordem decrescente e sendo caracterizadas pela permeabilidade apresentada do solo.

Tabela 6 - Classificação da Sensibilidade Parcial do Uso e Ocupação do Solo.

Uso e Ocupação de Solo	Classificação da Sensibilidade Parcial
Corpo d'água	3
Área antropizada	2
Área edificada	1
Formação florestal	3
Formação não florestal	2

Fonte: Elaborado pela autora.

6.6 Índice de Sensibilidade Terrestre (IST)

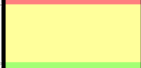
A integração das variáveis de análise, por meio da ferramenta *Weighted Sum* do software ArcGis Pro 3.5 que utilizou a distribuição de pesos de acordo com a Tabela 7, possibilitou a obtenção dos índices de sensibilidade terrestre (IST), que seguem a representação da Tabela 8.

Tabela 7 - Atribuição de peso para as variáveis.

Variáveis	Peso atribuído
Liotlogia	1
Densidade de Fraturas	2
Declividade	3
Profundidade do Nível d'água	3
Uso e Ocupação do Solo	2

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 8- Padronização das cores RGB para os Índices de Sensibilidade Terrestres.

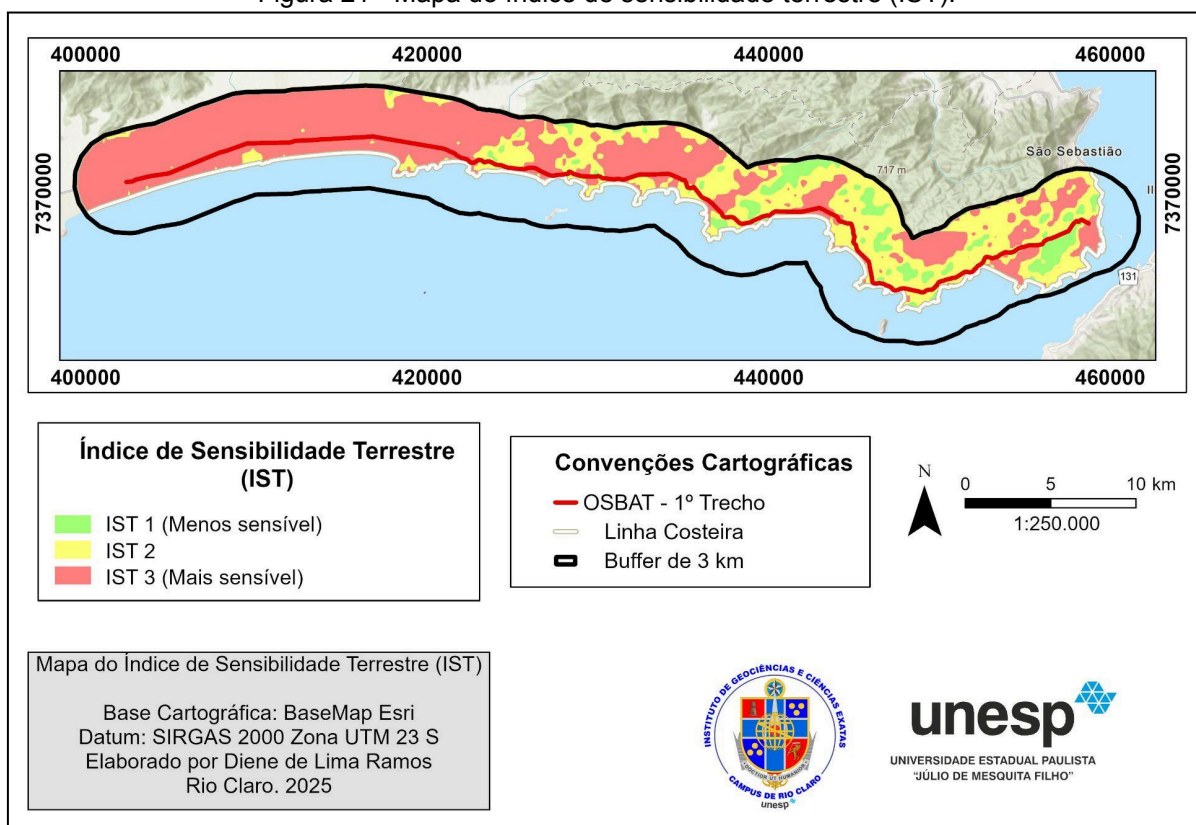
Índice de Sensibilidade Terrestre (IST)	Cor RGB	
3	255/127/127	
2	255/255/115	
1	163/255/115	

Fonte: Elaborado pela autora.

Analisando a Figura 21, verifica-se que o duto está localizado em uma área com elevada sensibilidade a derramamentos de óleo, já que 55,6% da região está contida no IST 3, uma porção significativa da área no IST 2 (36,8%) e uma porção inferior no IST 1 (7,6%).

Na porção oeste da área, a alta sensibilidade associa-se à declividade inferior, característica das planícies litorâneas, onde o nível d'água (NA) se encontra mais próximo à superfície e o litotipo predominante são as coberturas sedimentares inconsolidadas. Enquanto, a leste da região prevalecem relevos mais declivosos, relacionados à Serra do Mar, com níveis d'água mais profundos e ocorrência de rochas cristalinas resultando em áreas menos sensíveis.

Figura 21 - Mapa do índice de sensibilidade terrestre (IST).



Fonte: Elaborado pela autora.

6.7 Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo

A integração das variáveis de análise, possibilitou a obtenção dos Índices de Sensibilidade Terrestre (ISTs), aos quais foram incorporados informações sobre os recursos bióticos e socioeconômicos da região, resultando na elaboração da Carta de Sensibilidade ao Óleo em ambientes terrestres (Apêndice A). A carta apresenta apenas três índices com cores semafóricas para facilitar a interpretação pelas equipes de emergências.

O mapeamento dos recursos bióticos foi embasado na ocorrência de espécies na área de estudo, tendo como principal fonte o banco de dados do GBIF (2025) que reúne informações provenientes de diferentes bases de registro e registrou 168.750 espécies na região.

Na região predominam principalmente: invertebrados marinhos, aves, mamíferos aquáticos, anfíbios e peixes. Gerando uma ampla diversidade de recursos bióticos, que confirma uma elevada sensibilidade ao óleo, relacionada tanto ao valor ecológico quanto às funções ecossistêmicas. Os invertebrados marinhos,

por serem filtradores ou bentônicos, apresentam grande vulnerabilidade a contaminantes oleosos, acumulando hidrocarbonetos e sendo diretamente afetados na fisiologia e sobrevivência.

As aves demonstram uma sensibilidade elevada, tendo em vista que a contaminação compromete a impermeabilidade da plumagem, capacidade de voo, termorregulação e sucesso reprodutivo. Os vertebrados aquáticos, como cetáceos e peixes, são afetados pela ingestão e inalação de compostos tóxicos, além da alteração na disponibilidade de presas, enquanto que os anfíbios, devido à pele permeável, são considerados indicadores importantes de degradação ambiental.

Os elementos socioeconômicos, extraídos dos trabalhos de Pincinato (2007) e Cunha (2009), são associados a atividades econômicas, infraestrutura, turismo e patrimônio cultural, abrangem tanto infraestruturas críticas (portos, terminais, tomadas d'água), quanto áreas de turismo e lazer, comunidades tradicionais e zonas residenciais. Indicam lugares que podem sofrer prejuízos diretos e indiretos decorrentes de um evento de derramamento de óleo, sendo que os impactos decorrentes podem variar desde prejuízos econômicos imediatos até danos socioculturais e perda de serviços ecossistêmicos.

A estrutura da Carta SAO, evidencia que a região mapeada é caracterizada por um mosaico de ambientes sensíveis, recursos biológicos de alta importância ecológica e uma diversidade de usos humanos, demandando planejamento integrado e políticas de gestão ambiental contínuas.

7 CONCLUSÃO

A proposta da pesquisa foi elaborar uma Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo em Ambientes Terrestres, que permita uma flexibilidade e praticidade no que tange às operações de combate e limpeza ao óleo, referente ao 1º trecho do Oleoduto OSBAT que atravessa a região de São Sebastião (SP) e Guaratuba (SP).

A metodologia aplicada neste trabalho foi baseada na proposta de Martins (2012), onde foi realizada a soma ponderada de cinco variáveis, sendo elas a litologia, declividade, densidade de fraturas, profundidade do NA e uso e ocupação do solo. A adaptação realizada baseou-se na redução dos Índices de Sensibilidade Terrestre (IST), mantendo somente três níveis com seleção de cores semafóricas para sua representação, de forma a facilitar a leitura para ação imediata das equipes de limpeza, acelerando a tomada de decisão.

A metodologia proposta neste trabalho mostrou-se eficaz, pois atendeu aos objetivos estabelecidos e revelou-se aplicável para diferentes ambientes obtendo resultados coesos e representativos, visto que proporcionou maior detalhamento para a escala de trabalho estipulada em uma região extremamente diversificada.

Com relação à área de estudo, o índice de sensibilidade para a envoltória do duto, em sua maioria, pertence ao IST 3 (55,6%), sendo classificado com uma alta sensibilidade a derrames de óleo principalmente em regiões localizadas em áreas mais planas, em contexto de coberturas sedimentares, com alta densidade de nascentes, onde o NA é mais raso.

Embora os resultados sejam promissores nessa escala de estudo, para uma pesquisa mais detalhada há a necessidade de dados coletados em campo, compilando medições de direções de fraturas e estudo dos seus respectivos regimes tectônicos, além do mapeamento da localização e determinação aperfeiçoada das cotas de nascentes em matas fechadas.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, C. M. **A paisagem da Baixada Santista: urbanização, transformação e conservação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: FAPESP, 2006.
- ALMEIDA, F. F. M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. In: Geologia do Estado de São Paulo, São Paulo: IGC, 1964, p. 167-263 (IGC, Bol. 41).
- ALMEIDA, F. F.M. **Origem e evolução da plataforma brasileira**. [s.l.]: DNPM, 1967.
- ALMEIDA, F. F. M., HASUI, Y., BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian structural provinces: An introduction. **Earth-Science Reviews**, [s.l.], v.17, n.1-2, p. 1-29, 1981. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0012825281900039>. Acesso em: 1 jun. 2025.
- ALMEIDA, F. F. M.; HEILBRON, M.; SCHMITT, R. S.; VALERIANO, C. M.; RUBIM, I. N. ; MACHADO J. D. L.; MOHRIAK, W. U. ; TETZNER, W. Guia de campo na Área Continental do Alto de Cabo Frio. **Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro**, v. 21, n. 2, p. 325–355, 2013. Disponível em: <https://bgp.petrobras.com.br/bgp/article/view/52>. Acesso em: 01 jun. 2025.
- ARAS, Vladimir. **A maré de petróleo**. Blog do Vlad, 13 dez. 2019. Disponível em: <https://vladimiraras.blog/2019/12/13/a-mare-de-petroleo/>. Acesso em 30 jul. 2025.
- ARAÚJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. C. E. H. **Manual básico para elaboração de mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo no sistema Petrobras: ambientes costeiros e estuarinos**. Rio de Janeiro: CENPES/Petrobras, p. 134, 2002.
- BRASIL. **Decreto No 8.127**. Institui o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional, altera o Decreto no 4.871, de 6 de novembro de 2003, e o Decreto no 4.136, de 20 de fevereiro de 2002, e dá outras providências. Brasília. 22 out. 2013. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/decreto/d8127.htm> Acesso: 29 mai. 2025.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo**. Brasília: MMA, 107p., 2004.
- CAMPANHA, G. A. C.; ENS, H. H. Estrutura geológica na região de São Sebastião. In: UERJ, Simpósio de Geologia do Sudeste, 3, Rio de Janeiro, 1993. **Boletim de resumos**. p. 51-52.
- CARNEIRO, C. D. R.; SANTORO, E.; RODRIGUES, E. P.; HASUI, Y. **Evolução geológica do Pré-cambriano na baixada santista**. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2., 1979, Rio Claro. Atas...Rio Claro: SBG, 1979. v 1, p. 31-45.
- CAVALCANTE, I. N. **Estudo Hidrogeológico de terreno cristalino com manto de intemperismo - Área Piloto de Atibaia (SP)**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1990.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Principais acidentes envolvendo dutos**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/tipos-de-acidentes/dutos/principais-acidentes/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: CPRM, 2006. V. 2. Escala 1:750.000.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: CPRM, 2005. Escala 1:1.000.000.

CUNHA, Fabrício Pinheiro da. **Mapeamento de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo na região costeira de Bertioga - SP**. 2009. 2 v. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2009.

D'AFFONSECA, F. M. *et al.* Environmental sensitivity index maps to manage oil spill risks: A review and perspectives. **Ocean and Coastal Management**, [s.l.], v. 239, p. 106590, 2023.

DIAS NETO, C. M. **Evolução Tectono-termal do Complexo Costeiro (Faixa de Dobramentos Ribeira)**. São Paulo. 2001. 160p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

DIAS NETO, C. M.; FONSECA, P. E.; MUNHÁ, J.; EGYDIO SILVA, M.; RIBEIRO, A. **A estrutura em flor (flower structure) do Complexo Costeiro (Faixa Ribeira) em São Sebastião (São Paulo, Brasil)**. Cadernos Laboratório Xeológico de Laxe, La Curuña, v. 31, p. 105-125, 2006.

EBERT, H. D.; NEVES, M. A.; HASUI, I.; SZATMARI, P.; AIRES, J. R. **Evolução dos cinturões de cisalhamento entre os blocos São Paulo, Vitória e Brasília através da tectônica colisional oblíqua: uma modelagem física**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 4., 1993, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: SBG, 1993. p. 254-258.

ENGELBRECHT, B.Z. **Modelo conceitual de circulação de água subterrânea em aquífero cristalino no município de Itu/SP**. Rio Claro, 91 p., 2017. Dissertação (Mestrado) –Instituto de Geociências e Ciências Exatas.

FBDS - Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável. **Mapa de Cobertura e Uso do Solo do Município de Bertioga**. São Paulo: FBDS, 2024. Escala 1:250.000

FBDS - Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável. **Mapa de Cobertura e Uso do Solo do Município de São Sebastião**. São Paulo: FBDS, 2024. Escala 1:250.000.

FOSTER, S. Hard-rock aquifers in tropical regions: Using science to inform development and management policy. **Hydrogeology Journal**, v. 20, n. 4, p. 659–672, 2012.

GBIF. GBIF.org : **ocorrência** – download. Disponível em: <<https://doi.org/10.15468/dl.4fvd94>>. Acesso em: 10 nov. 2025.

GRAMANI, M. F. Serra do Mar: The Most “Tormented” Relief in Brazil. In: VIEIRA, B. C.; SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C. (Orgs.). **Landscapes and Landforms of Brazil**. [S. l.: s. n.], p. 285–297, 2015. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8023-0_26.

GIL-AGUDELO, D. L. et al. Environmental sensitivity index for oil spills in Colombian rivers (ESI-R): Application for the Magdalena river. CTeF-Ciencia, **Tecnología y Futuro**, Colômbia, v. 9, n. 1, p. 83-91, 2019.

GUNDLACH, E. R.; CEKIRGE, M.; ANUL, C.; ORHAN, C.; SUTHERLAND, P. Pipeline and coastal environmental sensitivity mapping for the BTC pipeline system in Turkey. **International Oil Spill Conference**, Washington, v. 2005, n. 1, p. 333-337, 2005.

GUNDLACH, E. R.; HAYES, M. O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Marine Technology Society Journal**, [s.l.], v. 12, p. 18-27. 1978.

HEILBRON, M. e MACHADO, N. Timing of terrane accretion in the NeoproterozoicEopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). **Precambrian Research**, [s.l.], 125:87-112, 2003.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES; A.C., CAMPOS NETO, M.C.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.A. Província Mantiqueira. In: Mantesso-Neto et al. (Org.) – Geologia do Continente Sul-Americano. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 35, n. 4, p.495- 511,2016, Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida, p. 203-234, 2004.

HEILBRON, M.; VALERIANO, C.M.; TASSINARI, C.C.G.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M.; SIGA JUNIOR, O.; TROUW, R.J.A. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. In: Pankhurst, R.J., Trouw, R.A.J., Brito Neves, B.B., De Wit, M.J., West Gondwana Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region, 294. **The Geological Society of London, London**, p. 211-237, 2008.

HIRATA, R.C.A.; FERREIRA, L.M.R. Os aquíferos da bacia hidrográfica do Alto Tietê: disponibilidade hídrica e vulnerabilidade à poluição. **Revista Brasileira de Geociências**, Brasil, 31:43-50, 2001.

HOWELL, D. G. **Tectonic of suspect terranes**: Mountain building and continental growth. London: Chapman and Hall, 1989. 232p

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2000 - 2018**. Manual técnico de uso da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 170p. Disponível em: https://mapasinterativos.ibge.gov.br/monitoramento_uso/. Acesso em: 6 de jun. 2025.

IFUWE, C. C.; ONOSEMUODE, C. Environmental Sensitivity Index Mapping for Environmental Sustainable Cleanup along NAOC Pipeline, Asemoku, Delta State, Nigeria. **Journal of Geographic Information System**, Nigeria, v. 16, n. 02, p. 148-165, 2024.

IMO - International Marine Organization. **International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil (OILPOL), 1954**. London: IMO, 1954. Disponível em: <https://www.imo.org>. Acesso em: 4 de jun. 2025

IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Mapa da divisão geomorfológica do Estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981. Escala 1:1.000.000

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. 3. ed. São Paulo: Instituto Geológico; Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, 2012. 104 p. (Cadernos de Educação Ambiental).

JOHNSON, B. C. D. Effects of Lithology and Fracture Characteristics on Hydraulic Properties in Crystalline Rock: Mirror Lake Research Site, Grafton County, New Hampshire. U.S. **Geological Survey Toxic Substances Hydrology Program Technical Meeting**, p. Volume 3, 1998.

LARSSON, I. **Ground Water in hard rocks**. Paris: UNESCO, 1984.

MACHADO, R.; ENDO, I. **A megaestrutura em flor positiva do vale do rio Paraíba do Sul no Rio de Janeiro e suas implicações tectônicas regionais**. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 3., 1993. Rio de Janeiro. Atas. Rio de Janeiro: SBG, 1993. p. 208-213.

MAFFRA, C. Q. T. **Geologia estrutural do embasamento cristalino na região de São Sebastião, SP: evidências de um domínio transpressivo**. São Paulo, 2000. 113p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

MARTIN, E. **A história do Dia da Terra: de protesto universitário ao ativismo global**. National Geographic Brasil, 20 abr. 2023. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/historia/2023/04/a-historia-do-dia-da-terra-de-protesto-universitario-ao-ativismo-global>. Acesso em: 3 de jun. 2025.

MARTINS, P. T. A. **Carta de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo em rodovias: proposta aplicada a Estrada dos Tamoios (SP-099)**. 2012. 171 f. Tese de Doutorado (Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/28c3d997-ef33-429b-9125-b77cc0d09f1a>. Acesso em: 01 de jun. 2025.

MENDES, R. F.; MINNITI, V.; LOPES, C. F.; MILANELI, J.; TORRES, C.; YOGUI, R.; RODRIGUES, G.; MARIZ, E. MARA – Elaboração de metodologias para análise dos riscos ambientais. In: RIO PIPELINE CONFERENCE & EXPOSITION, 1., 2005, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2005.

MICHEL, J.; HAYES, M. O.; BROWN, P. J. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of lower Cook Inlet, Alaska. **Environment geology**, [s.l.], v. 2, p. 107-117, 1978.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. Environmental Sensitivity Index Guidelines, Version 4.0. **NOAA Technical Memorandum**, NOS ORER, USA, v. 52, 2019.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. Environmental sensitivity index guidelines, Version 2.0. **NOAA Technical Memorandum**, NOS ORCA, USA, v. 115, p. 79, 1997.

PASSARELLI, C. L. **Caracterização estrutural e geocronológica dos domínios tectônicos da porção sul-oriental do Estado de São Paulo**. São Paulo: USP, 2001. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado. 254p.

PETERSEN, J.; MICHEL, J.; ZENGEL, S.; WHITE, M.; LORD, C.; PLANK, C. **Environmental Sensitivity Index Guidelines**. National Oceanic and Atmospheric Administration. v. 3.0. 2002. 89p.

PINCINATO, Fábio Luciano. **Mapeamento da sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo para a região costeira de São Sebastião e Caraguatatuba, litoral norte de São Paulo (SP), com uso de modelagem em SIG de sistema especialista baseado em conhecimento e árvore de decisão**. 2007. 63 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2007.

POFFO, I.R.F. **Vazamentos de Óleo no Litoral Norte do Estado de São Paulo. Análise Histórica (1974- 1999)**. Dissertação de Mestrado. PROCAM/USP – Programa de Pós- graduação em Ciência Ambiental da Universidade de São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/publicacoes/11.pdf>

ROSS, J. L. S. MOROZ, I. C. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo 1:500.000** - Vol. I - Mapa – Vol. II - Livro. São Paulo: FAPESP, v.1, 66 p., 1997.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SCHMITT, R.S.; TROUW, R. A. J.; VAN SCHMUS, W.R.; PIMENTEL, M.M. Late amalgamation in the central part of Western Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collision orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil). **Precambrian Research**, [s.l.], 133, p. 29-61, 2004.

SOUZA, F. G. E. *Artigo – Conteúdo local na indústria do petróleo*. SEESP, 01 fev. 2018. Disponível em: <https://www.seesp.org.br/site/index.php/comunicacao/noticias/item/17120-artigo-cont-eudo-local-na-industria-do-petroleo>. Acesso em: 08 jun. 2025.

TUPINAMBÁ, M. **Evolução tectônica e magmática da Faixa Ribeira na região serrana do Estado do Rio de Janeiro**. 1999. 221 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44143/tde-18112015-100759/>. Acesso em: 06 jun. 2025.

TUPINAMBÁ, M.; HEILBRON, M.; VALERIANO, C.; PORTO JÚNIOR, R.; BLANCO DE DIOS, F.; MACHADO, N.; EIRADO SILVA, L.G.; ALMEIDA, J.C.H. Juvenile contribution of the Neoproterozoic Rio Negro Magmatic Arc (Ribeira Belt, Brazil):

Implications for Western Gondwana Amalgamation. **Gondwana Research**, [s.l.] 21,p. 422-438, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1342937X11001638>. Acesso em: 29 de mai. 2025.

WALKER, D. A., WEBBER, P. J., EVERETT, K. R.; BROWN, J. Effects of crude and diesel oil spills on plant communities at Prudhoe Bay, Alaska, and the derivation of oil spill sensitivity maps. **Arctic**, [s.l.], v. 31, p. 242-256, 1978.

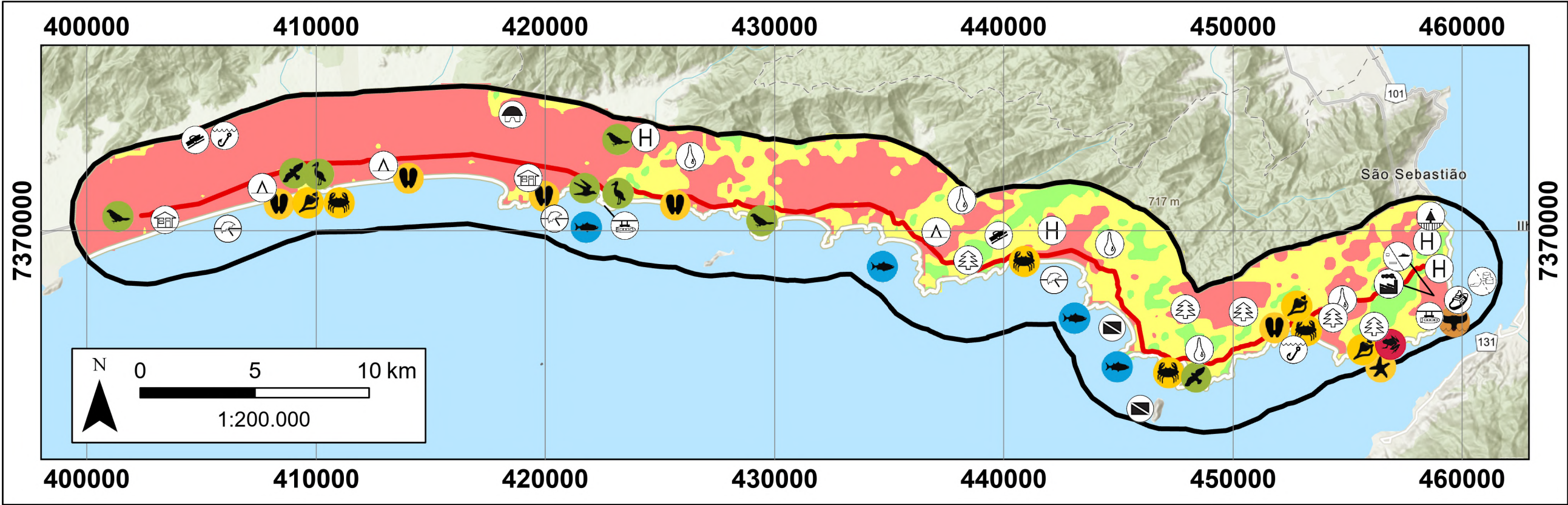
WANG, J. et al. Phytoremediation of oil-contaminated soil by combined *Tagetes erecta*, biochar and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). **Journal of Environmental Management**, v. 326, 116806, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722020040>. Acesso em: 04 jun. 2025.

WEKPE, V. O.; WHITWORTH, M.; BAILY, B. Terrestrial environmental sensitivity index mapping (TESIM) of the coastal areas of the Niger Delta region of Nigeria. **Scientific African**, Nigeria, v. 24, p. e02152, 2024.

WIECZOREK, A. **Mapeamento de sensibilidade a derramamentos de petróleo do Parque Estadual da Ilha do Cardoso - PEIC e áreas do entorno**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2006. 57p

**APÊNDICE A – CARTAS DE
SENSIBILIDADE
AMBIENTAL AO ÓLEO:
OLEODUTO OSBAT 1**

Carta de Sensibilidade Ambiental ao Óleo: Oleoduto OSBAT - 1º Trecho



Recursos Bióticos

- | | |
|---|--|
| 🐚 Bivalves (ostras, mexilhões, sururus e vieiras) | 🐦 Aves Terrestres (Passeriformes) |
| 🦀 Crustáceos (caranguejos e siris) | 🐦 Aves Aquáticas Continentais (Pernaltas) |
| 🌟 Equinodermos (estrela-do-mar, ourico, ofiuro) | 🐘 Mamíferos (Grandes cetáceos) |
| 🐌 Gastropodes (caracóis) | 🐸 Anfíbios Anuros (sapos, ras e pererecas) |
| 🐦 Aves Marinhas Costeiras | 🐟 Peixes Pelágicos (teleosteos) |
| 🦅 Aves de Rapina | |

Recursos Socioeconômicos

- | | | |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 🏠 Área de mergulho | 🚁 Heliporto | 🏠 Reserva indígena |
| ⛺ Camping | 🏰 Local histórico | 🛢️ Terminal de petróleo |
| 🏠 Casas residenciais / veraneio | 🎣 Pesca recreativa | 💧 Tomada d'água |
| 🏭 Complexo industrial com uso | 🚢 Portos e atracadouros | 🌲 Unidade de conservação |
| 🚚 Depósito de equipamentos | 🏖️ Praia | |
| 🚢 Ferry-boat | 🚢 Rampa para embarcações | |

Convenções Cartográficas

- OSBAT - 1º Trecho
- Linha Costeira
- ▭ Buffer de 3 km

Índice de Sensibilidade Terrestre

- IST 1
- IST 2
- IST 3

Sistema de Projeção: SIRGAS 2000
Base Cartográfica: ESRI World Topo (2025)
Elaborado por Diene de Lima Ramos

