



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
TECNOLOGICA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS
DA AMAZÔNIA**

DAYARA BASTOS PALHETA

**MAPEAMENTO DOS ÍNDICES DE SENSIBILIDADE
FLUVIAL A DERRAMES DE ÓLEO NO MUNICÍPIO DE
MONTE ALEGRE, PA, BRASIL, A PARTIR DO
PROCESSAMENTO DE IMAGENS RAPIDEYE**

**Santarém, Pará
Fevereiro, 2019**

DAYARA BASTOS PALHETA

**MAPEAMENTO DOS ÍNDICES DE SENSIBILIDADE
FLUVIAL A DERRAMES DE ÓLEO NO MUNICÍPIO DE
MONTE ALEGRE, PA, BRASIL, A PARTIR DO
PROCESSAMENTO DE IMAGENS RAPIDEYE**

Orientador: PROF. DR. ANDERSON ALVARENGA DE MOURA MENESES
Co-orientadora: PROF.^a DR.^a.SUZAN WALESKA PEQUENO RODRIGUES

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do ará – UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia.

Área de concentração: Interdisciplinar.

**Santarém, Pará
Fevereiro, 2019**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

P161m Palheta, Dayara Bastos

Mapeamento dos índices de sensibilidade fluvial a derrames de óleo no município de Monte Alegre, PA, Brasil, a partir do processamento de imagens rapideye / Dayara Bastos Palheta. – Santarém, 2019.

77 fl. : il.

Inclui bibliografias.

Orientador: Anderson Alvarenga de Moura Meneses.

Co-orientadora: Suzan Waleska Pequeno Rodrigues.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia.

1. Mapeamento ambiental. 2. Geomorfologia fluvial. 3. Índice de sensibilidade ambiental. 4. Rio Amazonas. I. Meneses, Anderson Alvarenga de Moura, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 551

DAYARA BASTOS PALHETA

**MAPEAMENTO DOS ÍNDICES DE SENSIBILIDADE
FLUVIAL A DERRAMES DE ÓLEO NO MUNICÍPIO DE
MONTE ALEGRE, PA, BRASIL, A PARTIR DO
PROCESSAMENTO DE IMAGENS RAPIDEYE**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Recursos Naturais da Amazônia, Área de concentração: Ciências Ambientais. Aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia, nível de mestrado, da Universidade Federal do Oeste do Pará, **19 de Fevereiro de 2019.**

Dr. José Mauro Sousa de Moura (UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ)
Coordenador

Apresentada à comissão Examinadora, integrada pelos Professores:



Prof. Dr. Ulisses Silva Guimarães (SIPAM)
Examinador 01



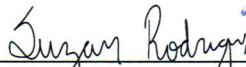
Prof^a. Dr^a. Susan Aragón Carrasco (PPGRNA)
Examinador 02



Prof^a. Dr^a. Milena Marília Nogueira de Andrade (UFRA)
Examinadora 03



Prof. Dr. Anderson Alvarenga de Moura Meneses (UFOPA)
Orientador



Prof^a. Dr^a. Suzan Waleska Pequeno Rodrigues (UnB)
Co-orientadora

**Santarém, Pará
Fevereiro, 2019**

AGRADECIMENTOS

A esse espectro de luz que nos concede força, nos guias e nos acompanha, Deus.

Ao meu orientador, Anderson Meneses, por todo o tempo dedicado em me orientar, gratidão pelos ensinamentos acadêmicos, todos foram válidos e aproveitados em algum momento da minha jornada acadêmica, e creio que ainda os utilizarei para o resto da vida. Ao senhor, gostaria de agradecer, também, pelas oportunidade e votos de confiança em meu trabalho, por sempre acreditar em mim mais que eu, pelos inúmeros ensinamentos de vida compartilhado, pela paciência e respeito. Gratidão por tudo, que Deus continue o abençoando, pelo ser humano bondoso e generoso que é.

A minha co-orientadora, Suzan Rodrigues que aceitou o desafio em me orientar, a quem devo a minha mais sincera gratidão e admiração, pela mulher e ser humano maravilhoso que ela é.

Aos meus colegas de sala, todos foram de uma divina importância em minha vida.

Aos meus colegas do Laboratório de Inteligência Computacional (LABIC), por todas as experiências profissionais que tive a oportunidade de experimentar com vocês, gostaria de continuar tendo sorte na vida de participar de grupos de pesquisas tão próspero quanto este. Em especial gostaria de agradecer ao Max Mitsuya pela ajuda nos campos, sem você tudo seria mais difícil.

Aos meus amigos: Mayke, por sempre me aturar, Gleiciane, por ser uma *best* para todas as horas, Vidinha, por ser minha amiga por tantos anos e ainda conseguir conviver comigo, Amanda e família, por todos os melhores momentos e toda ajuda, Fabrício, por ser paciente comigo, Max, por tirar todas as minhas dúvidas e me inspirar ser uma pessoa melhor. Amo vocês.

Aos meus familiares: Izabel (vó), Darialva (tia), Dimas (tio), Danilo, Joane (irmã), Alex (irmão), João (irmão). Em especial a minha Mãe por ter me dado a vida e por me amar incondicionalmente. Eu te amo!

Ao meu namorado Gabriel por toda a paciência e dedicação. Eu te amo!

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro e a Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA).

PALHETA, Dayara Bastos. Mapeamento dos Índices de Sensibilidade Fluvial a derrames de óleo no município de Monte Alegre, Pa, Brasil, a partir do processamento de Imagens Rapideye. 2019. 91 páginas. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Ciências Ambientais – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2019.

RESUMO

Acidentes envolvendo o derramamento de óleo em corpos d'água afetam, tanto o meio ambiente quanto os recursos socioeconômicos da população local. Nesse sentido, os resultados desta dissertação, pretende corroborar na identificação de ambientes físicos mais sensíveis a contaminação de óleo aplicando uma classificação de índices de sensibilidade ambiental ao óleo para ambientes fluviais (ISF). Neste estudo foi mapeado o sistema fluvial do município de Monte Alegre (Pa), em que foram realizados levantamentos de campo, em duas estações: chuvosa e seca, com coleta de amostras sedimentares e levantamentos das características geomorfológicas e geológicas marginais, os quais foram registrados com fotos. Um mapa de uso do solo e cobertura vegetal, classificado no *software* e-Cognition e índice Kappa de 85% corroboraram na classificação do ISF, o qual permitiu identificar que o índice 10b, caracterizado por vegetação alagada e depósitos aluvionares, esteve presente em 245,02 km² da área estudada, o que equivale a 61,43% do total, sendo o mais recorrente na área de estudo consideradas com alta sensibilidade ambiental ao óleo.

Palavras-chave: Índice de Sensibilidade Ambiental. Mapeamento ambiental de sensibilidade de derreamento ao óleo. Rio Amazonas. Geomorfologia Fluvial.

PALHETA, Dayara Bastos. Mapping of Environmental Riverine Sensitivity Index to Oil Spills in the Monte Alegre, Pa, Brazil, using Rapideye image processing. 2019. 91 pages. Master degree dissertation in Amazon Natural Resources. Area of Concentration: Environmental Science – Postgraduate Program in Amazon Natural Resources. Federal University of Western Pará – UFOPA, Santarém, 2019.

ABSTRACT

Accidents involving the spilling of oil into water bodies affect both the environment and the socioeconomic resources of the local population. In this sense, the results of this dissertation intends to corroborate in the identification of physical environments more sensitive to oil contamination applying a classification of environmental sensitivity indexes to oil for fluvial environments (ISF). In this study, the river system of the municipality of Monte Alegre (Pa) was mapped, in which field surveys were performed in two seasons: rainy and dry, with collection of sedimentary samples and surveys of marginal geomorphological and geological characteristics, which were recorded with photos. A land use and vegetation cover map, classified in the e-Cognition software and Kappa index of 85%, corroborated the ISF classification, which allowed us to identify that the index 10b, characterized by flooded vegetation and alluvial deposits, was present in 245.02 km² of the studied area, which corresponds to 61.43% of the total, being the most recurrent in the study area considered with high environmental sensitivity to oil.

Key-Words: Environmental Fluvial sensitivity index. Environmental sensitivity to oil mapping. Amazon river. Fluvial geomorphology.

LISTA DE TABELAS

Figura 2.1 - Processos que ocorrem durante e após um derramamento de óleo em água.	12
Figura 3.1 - Mapa de localização da área de estudo.	21
Figura 3.2 - Mapa de localização da Bacia do Amazonas.	22
Figura 3.3 - Mapa Geológico com as formações aflorantes na área de estudo.	23
Figura 3.4 - Mapa com as unidades geomorfológicas da área de estudo.	25
Figura 3.5 - Mapa de solos com as principais classes identificadas na área de trabalho.	26
Figura 3.6 - Mapa de vegetação contendo os ecossistemas mais representativos da área de estudo.	29
Figura 3.7 - Fluxograma das fases adotadas no trabalho.	32
Figura 3.8 - Segmentação Multiresolution a partir do software eCognition (linhas em azul) na área de estudo.	34
Figura 3.9 - Mapa de campo com os pontos do final do período chuvoso(julho/2017) e período seco (outubro/2017). Em (A) e (B) estão localizados os pontos dentro da sede municipal de Monte Alegre. (C) estão os pontos nas comunidades de São Diogo, Seis Unidos e Cuçaru. (D) são os pontos coletados no município de Jacarecapá.	36
Figura 3.10 - Procedimentos adotados durante a prática no laboratório.	37
Figura 3.11 - (A) balança de precisão. (B) estufa para a secagem das mostras. (C) conjunto de peneiras usadas da marca Bertel. (D) agitador magnético da marca Bertel.	39
Figura 4.1 – As 13 classes foram divididas em 3 grupos: feições fluviais, uso da terra e outros. Estão representadas as feições classificadas e sua correspondente na imagem real.	43
Figura 4.2 - Mapa com as classes de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal da área de trabalho.	44
Figura 4.3 - Curva granulométrica das amostras coletadas.	47
Figura 4.4 - Mapa com os Índices de Sensibilidade Fluvial da área de estudo.	49
Figura 4.5 - Mapa de Índices Sensibilidade Fluviais da subárea A com os ISF 2, ISF 4, ISF 5, compreendendo a orla de Monte Alegre.	51
Figura 4.6 - Mapa de Índices Sensibilidade Fluviais da subárea B com os ISF 1, ISF 7, ISF 9, compreendendo a orla de Monte Alegre.	52
Figura 4.7 - Mapa de Índices Sensibilidade Fluviais da subárea C com os ISF 10a e ISF 10b compreendendo os municípios de São Diogo, Cuçaru e Seis Unidos.	54

Figura 4.8 - Mapa de Índices Sensibilidade Fluviais da subárea D com os ISF 5, ISF 7, ISF 8, ISF 10a e ISF 10b compreendendo os municípios de Jacarecapá e Piriquito.	55
Figura 4.9 – Representa as estruturas artificiais (ISF 1), localizadas na orla da sede municipal.(a) e (b)muros de concreto e pedras.....	56
Figura 4.10 - Laje ou afloramento rochoso (ISF 2). (a) com altura de 10,62 e (b) com altura de 8,48 m, ambos os afloramentos localizados na sede municipal.	57
Figura 4.11 - Escarpa/Barranco (ISF 4). (a) e (b) com altura de 8,34 m.....	57
Figura 4.12 - Praia ou banco de areia/ seixo exposta (ISF 5). (a) e (b) estão localizadas nas proximidades do município utilizadas para recreação.....	58
Figura 4.13 - Praia ou banco de areia/seixo abrigada (ISF 6). (a) localizada na sede do município e (b) localizada na comunidade de Seis Unidos.	58
Figura 4.14 - Banco de macrófitas aquáticas (ISF 10a). (a) vegetação localizada na hidrovíaria de Monte Alegre, (b) vegetação próximo ao bairro Pajuçara.....	59
Figura 4.15 - Vegetações alagáveis (ISF 10b). (a) e (b) vegetações localizadas em Jacarecapá.	59
Figura 4.16 - Ambientes de elevada sensibilidade sem ISF. (a), (b), (c), (d), (e) e (f) são localizados ao longo da orla do município, tanto no período seco, quanto no período chuvoso.	60
Figura A.0.1 – Mapa de uso e ocupação do solo com as das 4 subáreas delimitadas em campo.	73
Figura B.0.1 – Mapa de Índice de Sensibilidade Fluvial para as 4 subáreas.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Resumo dos vários níveis de processamento de produtos de imagem RapidEye. 8	8
Quadro 2.2 - Processos intempéricos que ocorrem após um derramamento de óleo em água. 12	12
Quadro 2.3 - Índice de Sensibilidade Ambiental para ambientes fluviais..... 17	17
Quadro 2.4 - Feições fluviais características do ambiente amazônico..... 18	18
Quadro 2.5 - Índice de sensibilidade fluvial da região amazônica..... 18	18
Quadro 2.6 - Índice de Sensibilidade Fluvial ao Óleo proposto por Costa (2013)..... 19	19

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Informação das bandas do Sensor REIS e das imagens RapidEye.	8
Tabela 2.2 - Características das imagens RapidEye e do Sensor REIS.....	8
Tabela 3.1 - Características da cena utilizada para a proposta de trabalho.	32
Tabela 3.2 - Tabela Pesos das amostras úmidas e secas.....	37
Tabela 3.3 - Abertura de peneira utilizadas e suas correlações.	38
Tabela 4.1 - As classes foram determinadas em campo, utilizando como método as características dos ambientes mapeados. As 13 classes são divididas em 3 grupos: feições fluviais, uso da terra e outros.....	42
Tabela 4.2 - Índice Kappa gerado a partir da classificação baseada ao objeto. A=Floresta alagável/ densa, B=Chavascal, C=Campestre, D=Margens de rio e ilhas, E=Uso não identificado, F=Corpo d'água, G=Áreas Urbanizadas, H=Florestal, I=Praias de margens, J=Banco de macrófitas herbáceas ou de gramíneas, K=Nuvem, L=Barras ou bancos fluviais, M=Pastagem.	45
Tabela 4.3 - Massa em gramas (g) das amostras, contidas nas peneiras para os dois campos.	46

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

Abreviaturas

AF - Areia fina

AG - Areia grossa

AM - Areia média

AmF - Areia muito fina

AmG - Areia muito grossa

CF - Cascalho fino

CG - Cascalho grosso

CM - Cascalho médio

CmG - Cascalho muito grosso

S/C - Sem classificação

SeA - Silte e argila

Siglas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

ESI - *Environmental Sensitivity Index*

GLP - Gás de Petróleo Liquefeito

GPS - Sistema de Posicionamento Global

ISA - Índice de Sensibilidade Ambiental

ISF - Índice de Sensibilidade Fluvial

ISL - Sensibilidade do Litoral

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NBR - Normas Brasileiras

NOAA - *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Serviço Nacional de Administração dos Oceanos e da Atmosfera dos Estados Unidos)

PEMA - Parque Estadual de Monte Alegre

SAO - Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo

SEMMA - Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará

SIG- Sistema de Informações Geográficas

UC - Unidade de Conservação

UFOPA - Universidade Federal do Oeste do Pará

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1 Objetivo geral	3
1.1.2 Objetivos específicos	3
1.2 Revisão bibliográfica	4
1.3 Visão Geral.....	6
CAPÍTULO II.....	7
2 REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1 Sensoriamento Remoto	7
2.1.1 Imagens RapidEye	7
2.2 Processamento Digital de Imagens.....	9
2.2.1 Classificação	9
2.2.2 Classificação baseada em objeto	10
2.3 Interação Óleo-Água-Ambiente	11
2.4 Índice de Sensibilidade Ambiental.....	14
2.5 Índice de Sensibilidade Fluvial.....	16
CAPÍTULO III.....	20
3 MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 Caracterização da área de estudo	20
3.1.1 Localização	20
3.1.2 Geologia	21
3.1.2.1 Grupo Javari.....	23
3.1.2.1.1 Formação Alter do Chão	23
3.1.2.1.2 Depósitos aluvionares	24
3.1.3 Geomorfologia.....	24
3.1.3.1 Planícies Fluviais ou Fluviolacustres.....	25
3.1.4 Solos	26
3.1.4.1 Latossolo Vermelho-Amarelo.....	26
3.1.4.2 Argissolo Vermelho-Amarelo.....	27
3.1.4.3 Gleissolo	27
3.1.4.4 Neossolo Flúvico	27

3.1.5	Clima	28
3.1.6	Vegetação	28
3.1.7	Hidrografia.....	29
3.2	Materiais.....	31
3.3	Métodos	32
3.3.1	Pré-processamento da imagem RapidEye	32
3.3.2	Processamento da imagem RapidEye.....	33
3.3.3	Pós-processamento da imagem RapidEye.....	34
3.3.3.1	Avaliação da classificação Kappa.....	34
3.3.3.2	Trabalho de campo.....	35
3.3.3.3	Granulometria	36
3.3.3.4	Construção do mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal	39
3.3.3.4.1	Classes de uso da terra	39
3.3.3.4.2	Classes de feições fluviais.....	40
3.3.3.5	Construção do mapa de índice de sensibilidade fluvial.....	40
CAPÍTULO IV	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	Mapa de uso do solo e cobertura vegetal.....	42
4.2	Granulometria	46
4.3	Mapa de Índice de Sensibilidade Fluvial.....	48
4.3.1	Descrição e o comportamento do óleo nos ambientes.....	56
CAPÍTULO V	61
5	CONCLUSÃO.....	61
REFERÊNCIAS	63
APÊNDICE A	73
APÊNDICE B	74
APÊNDICE C	75
APÊNDICE D	76
APÊNDICE E	77

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

No século XX, no Alasca, a partir do registro do desastre ocorrido com o navio petroleiro Exxon Valdez, as legislações internacionais estabeleceram medidas de maior responsabilidade em relação ao transporte e armazenamento do petróleo e seus derivados (BIRKLAND; LAWRENCE, 2002). Essas medidas também foram adotadas no Brasil com a criação de planos com informações das áreas sensíveis ao óleo, disponibilizadas nas cartas de sensibilidade ao óleo, cartas SAO (MMA, 2004). As cartas SAO caracterizam as áreas costeiras marinhas e terrestres, em território nacional, para auxiliar na redução das consequências ambientais de vazamento de óleo. Estes planos foram desenvolvidos por Michel, Hayes e Brown (1978); Gundlach e Hayes (1978), na década de 1970.

As cartas SAO são geradas com base no índice de sensibilidade do litoral e nos recursos socioeconômicos da área e já estão produzidas para a zona costeira da Amazônia (ANDRADE *et al.*, 2010; RODRIGUES; SOUZA-FILHO, 2012; SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2016; SOUZA-FILHO, 2009; SOUZA-FILHO, 2016). Para ambientes fluviais Araújo *et al.* (2006) adaptaram os estudos em áreas costeiras a partir de um índice de sensibilidade fluvial ao óleo. Pois, quando ocorre algum acidente de derramamento de óleo, é importante que haja informações que indiquem quais áreas são prioritárias de proteção, para facilitar as ações de contenção ou limpeza, diminuindo os impactos do local contaminado (GUO, 2017). As áreas são selecionadas pela sua sensibilidade, uma vez que, elas indicam o grau de dificuldade que o local atingido possui para responder como a presença de óleo proveniente de um derramamento. Esses desastres devem ser medidos utilizando alguns indicadores relacionados às características físicas, biológicas e socioeconômicas da área (LEMOS *et al.*, 2009; JANEIRO *et al.*, 2008).

Desta forma, é pertinente a aplicação desse tipo de metodologia área de estudos, pois, a região conta com um setor de transporte via fluvial, já que é o mais viável e economicamente explorado, uma vez, que o rio Amazonas funciona como eixo principal de escoamento, comportando embarcações de grande porte. Nesse sentido é importante a identificação de ambientes físicos mais sensíveis a contaminação de óleo proveniente dos vários segmentos da economia local e, nestes trajetos, imprevistos podem ocasionar a contaminação do meio ambiente (CDP, 2017).

Esse fluxo intenso gera um risco potencial de derramamento de óleo diesel com danos aos recursos socioeconômicos e biológicos (NELSON; GRUBESIC, 2017; RODRIGUES;

SOUZA-FILHO, 2012). Como forma de prevenir, controlar e fiscalizar a poluição causada por eventuais lançamentos de óleo, a Lei 9.966 de 2000 em seu art. 7 prevê a necessidade de planos de emergência individuais. O conteúdo mínimo do plano de emergência deve ser elaborado considerando procedimentos para proteção de áreas vulneráveis (BRASIL, 2008), que inicialmente foram propostas para ambientes costeiros e, como forma de prevenção de danos maiores foram ampliadas para ambientes fluviais, que também, são locais de alta sensibilidade e necessitam de atenção prioritária.

O rio Amazonas possui quatro cenários bem determinados em relação a sua dinâmica hídrica: enchente, cheia, vazante e seca, característicos da região Amazônica. O Baixo Amazonas possui uma dinâmica particular, pois nele acontece o encontro das águas dos rios Tapajós e Amazonas, possibilitando um aporte de sedimentos distinto em sua confluência, configurando uma área cheia de ilhas fluviais e lagos.

As atividades portuárias são desenvolvidas na região amazônica devido à navegabilidade do complexo sistema de rios, buracos e lagos da planície de inundação amazônica. Devido à importância econômica da rede hidroviária para o transporte de pessoas e bens, a aplicação de ferramentas de avaliação ambiental torna-se imprescindível para apresentar ou mitigar possíveis danos causados pelo derramamento de óleo devido ao transporte, principalmente de cargas inflamáveis.

O presente trabalho analisa as áreas que possam sofrer maiores impactos, caso ocorra um derramamento de líquidos inflamáveis, com o objetivo de determinar qual a magnitude do impacto nos ambientes que possam ser degradados nas condições de que a granulometria, geomorfologia e hidrodinamismo constituam impedimento para a propagação de inflamáveis nos ambientes identificados, com o auxílio do mapa de índice de sensibilidade fluvial, o qual determinará uma escala de sensibilidade ao ambiente, de modo que a interferência possa ser feita na forma de conscientização dos órgãos responsáveis no processo de limpeza do óleo, no caso de vazamentos, bem como na prevenção desse tipo de impacto.

As atividades portuárias são facilitadas, pois as principais cidades estão as margens do rio Amazonas, proporcionando maior acesso neste mecanismo de locomoção. Esta facilidade aumenta pelo complexo sistema de furos e lagos que a Planície Amazônica dispõe, melhorando assim, a navegação nos seus afluentes que são todos navegáveis, estabelecendo as ligações secundárias.

Devido a dependência da rede hidroviária para transporte de pessoas e mercadorias nas cidades ao entorno do rio Amazonas, a exemplo do município de Monte Alegre, torna-se viável

a aplicação de metodologias que abordem o uso de uma ferramenta eficaz para o gerenciamento do ambiente, com o intuito de prevenir e/ou mitigar possíveis danos causados pelo intenso transporte de cargas inflamáveis. Monte Alegre conta com portos com terminais fluviais, que abrigam vários empreendimentos, com atividades ligadas ao deslocamento intermunicipal, interestadual de passageiros e turismo. Assim, os tipos de líquidos inflamáveis frequentemente transportados, entres os portos vizinhos, são: álcool não desnaturado, combustíveis, óleos minerais e produtos, gasolina, GLP (Gás de Petróleo Liquefeito), óleo combustível, óleo diesel e querosene (CDP, 2017).

Neste trabalho foi utilizado o índice de sensibilidade fluvial (ISF) (ARAÚJO *et al.*, 2006) como uma adaptação do índice de sensibilidade do litoral (ISL), que classificam a linha de costa, hierarquizando o contorno em uma escala de 1 a 10, sendo que quanto maior o índice mais sensível o ambiente. O ISL é baseado nas características geomorfológicas das áreas costeiras, considerando o grau de exposição à energia de ondas e mares, a declividade do litoral e o tipo do substrato, o que determina o alcance e o tempo de permanência do óleo (NOAA, 2002). Para alcançar o objetivo proposto foram realizados levantamentos de campo, em duas estações: chuvosa e seca, com coleta de amostras sedimentares e levantamentos das características geomorfológicas e geológicas marginais, os quais foram registrados com fotos, com a finalidade de determinar os ambientes possivelmente degradados por um derrame de óleo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Tendo em vista que, atualmente, não existe uma metodologia nacional para a elaboração de cartas de vulnerabilidade ambiental para ambientes fluviais, o objetivo da pesquisa é produzir um mapa do Índice de Sensibilidade Fluvial para a porção sul da cidade de Monte Alegre – Pa.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar o processamento de imagem REIS/RapidEye para confecção do mapa de uso e ocupação do solo que culminará na integração de classes e confecção do mapa com os Índices de Sensibilidade Fluvial;
- Verificar a acurácia da classificação do mapa de uso e ocupação do solo, e o índice Kappa, para a área de estudo a partir de áreas pré-definidas;

- Identificar áreas de maior e menor sensibilidade ao derreamento de óleo, a partir do reconhecimento das feições geomorfológicas segundo a sensibilidade apresentada;
- Analisar mapa ISF ao derrame de óleo, resultantes das atividades portuárias ligadas ao comércio e ao turismo em Monte Alegre – Pa.

1.2 Revisão bibliográfica

Adams *et al.* (1983) e Baca *et al.* (1985) propuseram as primeiras metodologias a sensibilidade fluvial. Adams *et al.* (1983) classificaram a sensibilidade ambiental utilizando como parâmetro o tempo de recuperação dos habitats, persistência do óleo, importância das espécies, singularidade dos habitats e grau de danos ao habitat com a limpeza, englobando os ambientes marinhos e fluviais na mesma categoria. Baca *et al.* (1985) descreveram os ambientes de grandes rios e ambientes de águas paradas diferenciando suas características e impactos, focando nos efeitos dos derrames em águas doces.

Hayes *et al.* (1995) propuseram uma classificação, na qual o índice fluvial utilizado levou em conta os mapeamentos de grandes rios. Os autores desenvolveram esta classificação baseada no entendimento dos processos geomorfológicos e físicos, pois os estudos de derrames em ambientes fluviais eram escassos. Hayes *et al.* (1995) chamaram a atenção para a importância de diferenciar ambientes com vegetação herbácea, como as gramíneas, da vegetação lenhosa, como arbustos e árvores. O *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) com algumas adaptações, como índices próprios para regiões lacustres e estuarinas, utilizam esta classificação fluvial no manual oficial (NOAA, 2002).

Hayes *et al.* (1995) e Hayes *et al.* (1997) publicaram uma nova proposta, desta vez, contemplando a sensibilidade das bacias hidrográficas à montante dos grandes rios mapeados por índices fluviais, incluindo pequenos rios e córregos. A nova metodologia proposta enfatizou como critérios principais a acessibilidade para contingência, sensibilidade e vulnerabilidade de terras úmidas, utilizando como critérios de classificação a navegabilidade; padrão do fluxo da água; tamanho do córrego; canais com bifurcações ou extravasamentos; locais adequados para coleta e tempo de residência do óleo.

Os trabalhos desenvolvidos no Brasil concentraram-se nos mapeamentos de regiões costeiras e marinhas. Os estudos propuseram adaptações dos métodos ao litoral do país, a maior concentração está no estado de São Paulo (BENEDITTI *et al.*, 2015; CANTAGALLO *et al.*,

2008; LIMA *et al.*, 2008; MULER *et al.*, 2011; PINCINATO *et al.*, 2009; WIECZOREK; DIAS-BRITO; MILANELLI, 2007).

Já na região Norte do país pode-se encontrar resultados consistentes no mapeamento, tanto de áreas costeiras, como em feições amazônicas (ALMEIDA, 2009; ANDRADE *et al.*, 2010; BOULHOSA; SOUZA-FILHO, 2007; SOUZA-FILHO, 2016; SANTOS *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2016; SOUZA-FILHO *et al.*, 2009; RODRIGUES; SOUZA-FILHO, 2012).

Ainda no norte do país Santos *et al.* (2016) propuseram um atlas do mapeamento da Bacia Marítima da Foz do Amazonas, como uma das últimas fronteiras para a introdução da atividade petrolífera, localizada em um contexto singular, na zona equatorial e na fronteira com um país europeu, e com uma complexidade de ecossistemas de grandes extensões, diversidade de usos e características socioeconômicas singulares. Outro trabalho que merece destaque é de Souza-Filho (2016), que também, se trata de uma proposta de atlas como objetivo de fornecer ao público interessado informações oficiais que podem ser tomadas como ponto de partida para a elaboração de estudos e políticas públicas voltadas à proteção do ambiente, perpassando pela elaboração/operacionalização de planos de contingência, planejamento de ocupação da zona costeira, definição de áreas críticas de proteção.

No sul do país, os trabalhos estão voltados para a metodologia de classificação que consideram a inclusão de variáveis biológicas ao ISL, além das mudanças nas definições dos ambientes quanto ao grau de energia hidrodinâmica descritos no manual do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Outros estudos buscam incorporar novos ambientes para a sensibilidade ao óleo como mapeamento em faixa de dutos e índice de sensibilidade ambiental terrestre (MARTINS *et al.*, 2014).

Entretanto, alguns trabalhos publicados procuraram demonstrar limitações no manual divulgado pelo MMA, dentre eles o de Muler *et al.* (2011), que constatou que as Cartas SAO ainda não abordam todos os aspectos relevantes à sensibilidade ao óleo. Wieczorek *et al.* (2007) sinalizam deficiências nos métodos empregados na Norma Técnica, pois este leva em conta à persistência ao óleo no ambiente e não à diversidade biológica presente nos ambientes.

A PETROBRAS mapeou a sensibilidade da região amazônica e desenvolveu um ISL próprio (ARAÚJO *et al.*, 2006). O índice foi criado utilizando a hierarquização das feições fluviais da área: feições encontradas no canal, feições das planícies fluviais e feições de transição entre planície e canal. Mas, o ISL da região Amazônica não se aplica as demais regiões fluviais do Brasil, devido ao ecossistema único e condições climáticas distintas de grande parte do país (SOUZA-FILHO *et al.*, 2009).

A metodologia de Costa (2013) é mais completa, atualmente, pois propõe um índice fluvial de grande abrangência voltado para climas quentes e úmidos. O Índice de Sensibilidade Fluvial, como foi denominado, possui uma escala de 1 a 10 com grau crescente de sensibilidade.

1.3 Visão Geral

Esta dissertação está organizada em quatro capítulos principais. O **Capítulo I** faz uma introdução para contextualizar a problemática e os objetivos da pesquisa, bem como a motivação para a sua realização, contém também, uma revisão bibliográfica que contará sobre trabalhos anteriores.

O **Capítulo II** descreve o referencial teórico com os principais conceitos, nos quais estão fundamentados os procedimentos realizados no desenvolvimento da pesquisa. E evidencia os fundamentos teóricos das metodologias existentes e suas evoluções, tanto para os ambientes marinhos e costeiros, quanto para os ambientes fluviais.

No **Capítulo III** são apresentados os materiais e métodos e a caracterização da área de estudo, como seus aspectos: geológicos, geomorfológicos, solos, clima, vegetação e hidrografia. Ainda conta com a apresentação dos materiais e metodologia utilizadas no desenvolvimento dos objetivos da pesquisa.

No **Capítulo IV** são descritos os resultados alcançados, com a interpretação do mapa ISF em escala de detalhes das quatro subáreas, com registros fotográficos e descrições detalhadas das evidências encontradas na área de estudos.

No **Capítulo V** encontram-se as conclusões e motivações para trabalhos futuros, além das referências bibliográficas consultadas para o embasamento da pesquisa.

CAPÍTULO II

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sensoriamento Remoto

2.1.1 Imagens RapidEye

O programa de lançamento do sensor REIS/RapidEye foi iniciado em 1996 em Munique com o apoio da Agência Espacial Alemã. O objetivo era fornecer soluções com informações geoespaciais de cobertura ampla, monitoramento repetitivo e revisões frequentes. É um sistema composto por 5 satélites capazes de adquirir imagens coloridas (Tabela 2.1) com resolução espacial de 5m e coletar mais de 6 milhões de km² de dados por dia, com uma largura de 77 km de largura no nadir. O único lançamento da constelação minissatélite foi no dia 29 de agosto de 2008 no Cazaquistão (RAPIDEYE, 2017).

Mais de 70% das imagens do RapidEye têm um ângulo de visão de menos de 10°, já que o ângulo de visão é sempre menor que 20°. O sistema também tem a capacidade de visitar diariamente para qualquer ponto da Terra. Cada um dos cinco satélites é intercalado entre si com o solo, de modo que as imagens entre os satélites são indistinguíveis umas das outras e são úteis para análises biofísicas da vegetação.

A constelação de satélites RapidEye está em funcionamento e cada satélite mede menos de um metro cúbico com uma massa de 150 kg. Todos os cinco satélites estão equipados com sensores idênticos e estão localizados no mesmo plano orbital. A constelação possui uma órbita síncrona do sol, no qual todos os cinco satélites estão espaçados uniformemente em um único plano orbital a uma altitude de 630 km, inclinação de 97,9°, tempo de passagem no equador às 11:00 horas, período de 96,7 min, revoluções/dia de 14,89 e espaçamento/órbita de 24,202° (Tabela 2.2).

O produto RapidEye 1B *Basic* é radiométrico e sensor corrigido; e é o menos processado dos produtos de imagem RapidEye. Este produto foi projetado para clientes que desejam fazer sua própria correção geométrica e é acompanhado por todas as informações necessárias para processar os dados em um formulário geocorrigido. O produto RapidEye Ortho (L3A) é corrigido e ortoretificado usando controle de solo e DEMs e, em seguida, cortado na grade de ladrilhos RapidEye. Cada um abrange uma área de 25 km por 25 km com uma sobreposição entre as telhas adjacentes e é ideal para cobrir áreas de projeto menores que exijam imagens referenciadas com precisão (KRISCHKE; NIEMEYER; SCHERER, 2000).

Tabela 2.1 - Informação das bandas do Sensor REIS e das imagens RapidEye.

Número de bandas	Nome da banda	Resolução espectral (nm)	Comprimento de onda (μm)
1	Azul	440–510	475.0
2	Verde	520–590	555.0
3	Vermelho	630–685	657.5
4	<i>Red-edge</i>	690–730	710.0
5	Infravermelho próximo	760–850	805.0

Fonte: RapidEye (2017).

Tabela 2.2 - Características das imagens RapidEye e do Sensor REIS.

Item	Descrição
Número de satélites	5
Operadores	<i>Planet Labs</i>
Data de lançamento	29 de agosto de 2008
Situação da missão	Operando
Sensores a bordo	REIS (<i>RapidEye Earth Imaging System</i>)
Passagem pelo Equador	$\pm 11:00$ h em hora local
Horário UTC decimal	14.1822587
Modelo dos gases	Tropical
Órbita	Heliossíncrona com 630 km de altitude
Tipo do sensor	Imageador multiespectral <i>pushbroom</i>
Bandas espectrais	Faixa do espectro (nm)
Modelo de aerossol	Continental
Altitude média	408 m
Altura da órbita	630 km
Distância Sol-Terra	1,01244
Ângulo zenital solar	0,79
Visibilidade	25 km
Resolução	Espaçamento de pixel 6,5 m no nadir
Expectativa de tempo de vida do satélite	7 anos
Tempo de revisita	Diariamente fora do nadir/ 5,5 dias (no nadir)
Datum horizontal	WGS84
Bits de quantização	12 bits
Cobertura espacial	84 N, 84 S, 180 W, 180 E
Cobertura temporal	2009-02-01 - presente (apenas dados de arquivo)
Largura da faixa	77 m

Fonte: RapidEye (2017).

Os produtos de imagem RapidEye são fornecidos em diferentes níveis de processamento para serem diretamente aplicáveis às necessidades do usuário (Quadro 2.1).

Quadro 2.1 - Resumo dos vários níveis de processamento de produtos de imagem RapidEye.

Nível	Descrição
1B	Correções radiométricas e calibrações dos sensores aplicadas aos dados.
3A	Correções radiométricas, calibrações dos sensores e geométricas aplicadas aos dados. A precisão do produto depende da qualidade do controle terrestre em conjunto com correções de relevo.
3B	Amplia a usabilidade dos produtos RapidEye ortorretificados, aproveitando a imagem completa. Ajusta várias imagens juntas para cobrir grandes áreas com mais precisão em menos arquivos.
3M	Mosaico equilibrado em cores, composto por produtos ortográficos e ajustados.

Fonte: RapidEye (2017).

No Brasil, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) adquiriu a cobertura completa do país em imagens do satélite RapidEye (<http://geocatalogo.mma.gov.br/>). A partir da assinatura de acordos de cooperação técnica com o MMA, a Embrapa e outros órgãos públicos podem utilizá-las em ações e pesquisas. Todos os produtos de imagem RapidEye vêm com uma imagem de navegação de resolução reduzida, arquivo de metadados XML e arquivo UDM

(*Unusable Data Mask*). O arquivo UDM é um arquivo de varredura georeferenciada de resolução reduzida, mostrando áreas cobertas por nuvens, preenchimento de dados ou dados ausentes. O produto RapidEye 1B Basic é fornecido em formato NITF 2.0 ou GeoTIFF em arquivos separados por banda, enquanto o produto RapidEye 3A Ortho é entregue em um único arquivo GeoTIFF.

2.2 Processamento Digital de Imagens

2.2.1 Classificação

As técnicas de classificação digital de imagens ajudam no processo de automatizar de extração de informações das imagens eliminando a subjetividade da interpretação humana e reduzindo o esforço de trabalho do analista. A classificação se baseia em métodos estatísticos de reconhecimento de padrões. Seguindo regras da teoria da probabilidade e através de parâmetros de agrupamento previamente definidos, os atributos espectrais de um dado pixel são identificados e classificados (WALSH; BUTLER; MALANSON, 1998). O resultado final da classificação é uma imagem digital que constitui em um mapa de pixels classificados, representando em polígonos os padrões homogêneos de classes de alvos, resultando em um mapa digital temático.

Os métodos de classificação baseados em pixel são divididos em dois grupos: **classificação supervisionada** – os atributos espectrais de um dado pixel são comparados com aqueles relativos a uma área de treinamento, definida pelo usuário, com base no conhecimento da realidade terrestre, assim, as amostras são coletadas através da imagem para as classes especificadas e cada pixel é comparado com essas amostras (BOYACI; ERDOGAN; YILDIZ, 2017), e classificação **não-supervisionada** – proporciona o reconhecimento de padrões de modo automático, através da análise de todos dos pixels que compõem a imagem e da identificação de agrupamentos (*clusters*), que são utilizados como área de treinamento. É usada se não houver informações suficientes sobre a área a ser classificada (LILLESAND; KIEFER, 1994).

A classificação de imagens baseada em pixels encontrou sérios problemas quando aplicadas a imagens de alta resolução espacial aumentando a demanda por análise de imagens baseada em objetos. (GAO; MAS, 2008). No desenvolvimento das análises de imagens, os objetos foram extraídos de limites previamente definidos, e as seguintes classificações baseadas nesses objetos extraídos exibiram resultados com maiores precisões, comparando com os métodos em pixels. A segmentação é uma etapa preliminar na análise de imagens baseada em

objetos e foi a solução para obter objetos em áreas sem limites inicialmente estabelecidos (MAKINDE *et al.*, 2016).

2.2.2 Classificação baseada em objeto

O conceito de análise de imagens baseada em objetos como alternativa à análise baseada em pixels foi introduzido na década de 1970 (FLANDERS; HALL-BEYER; PEREVERZOFF, 2003). A aplicação prática inicial foi no sentido da automação da extração de características lineares. Além da limitação de *hardware*, *software*, baixa resolução de imagens e teorias de interpretação, a aplicação inicial deste método enfrentou obstáculos na fusão de informações, validação de classificação, obtenção de eficiência razoável e automação de análise (MA *et al.*, 2017). Desde meados da década de 1990, a capacidade de hardware aumentou dramaticamente e imagens de alta resolução espacial com maior variabilidade espectral tornaram-se disponíveis.

A ideia do método surgiu do fato de que a imagem possui informação textural característica que não existe nos métodos de classificação baseados em pixels. Métodos de classificação baseados em objetos usam os objetos como uma unidade de classificação em vez de pixels (CARLEER; WOLFF, 2006). Métodos baseados em objetos usam forma, textura, área, conteúdo e informações sobre o relacionamento topológico com outros objetos, bem como informações espectrais para realizar a classificação (SHACKELFORD; DAVIS, 2003). Existem softwares como o eCognition que foi desenvolvido para utilizar procedimentos de classificação baseados em objetos. Esses pacotes analisam as propriedades espectrais e espaciais/contextuais dos pixels e usam um processo de segmentação e algoritmos de aprendizagem iterativa para obter um procedimento de classificação semiautomático que promete ser mais preciso do que os métodos tradicionais baseados em pixels (TRIMBLE, 2014).

Para uma classificação orientada ao objeto, uma das etapas mais importante e fundamental ao processo, é a segmentação, na qual, serão delimitados os objetos e posteriormente classificados em alguns níveis de detalhe. A segmentação possibilita a obtenção de grupos de pixels ou segmentos que tem características parecidas e estão próximos, porém ela leva em consideração, também, as informações contextuais da imagem estudada, aceitando não apenas a dimensão espectral, mas igualmente a dimensão espacial e a escala dos objetos (MAKINDE *et al.*, 2016).

No presente estudo, foi utilizado um algoritmo de segmentação *Multiresolution*, que é baseada no conceito de evolução de rede fractal (FNEA: *Fractal Net Evolution Approach*,

TRIMBLE, 2014), ou seja, um método de mesclagem de região. Inicialmente cada pixel é atribuído como um objeto, o qual, é combinado com etapas iterativas. Esta etapa é um critério de fusão para minimizar a heterogeneidade média dos objetos, que recebem um peso e acordo com seu tamanho. Assim, o algoritmo de segmentação é controlado pelos critérios fator de escala e heterogeneidade. O critério de heterogeneidade inclui duas propriedades: cor e forma. Cor significa homogeneidade espectral e forma referem-se as características geométricas/morfológicas dos objetos, e essas duas propriedades podem ser ajustadas pelo usuário, enquanto a soma delas deve ser igual a 1 ($\text{cor} = 1 - \text{forma}$). A forma também inclui duas propriedades: suavidade e compactação. As propriedades de suavidade e compactação também podem ser ajustadas pelo usuário, semelhantes à cor e à forma ($\text{suavidade} = 1 - \text{compactação}$). Além dos critérios anteriores escolhe-se uma escala, essa etapa é importante, pois, interrompe o processo de otimização e determina o tamanho dos objetos formados. A medida de heterogeneidade é calculada antes da fusão de dois objetos adjacentes. Se o aumento exceder um limite determinado pelo parâmetro de escala, o processo de fusão não será realizado e a segmentação será concluída (TRIMBLE, 2014).

2.3 Interação Óleo-Água-Ambiente

O óleo é um termo geral que descreve uma ampla variedade de substâncias naturais de origem vegetal, animal, ou de origem mineral. Cada tipo de produto de óleo tem certas características e propriedades únicas (API, 1999; ITOPF, 2005). As propriedades intrínsecas de tais substâncias proporcionam diferentes efeitos no ambiente, bem com, influenciam nos processos de limpeza. O transporte e o intemperismo do óleo derramado são regidos pelas suas propriedades e pelas condições hidrodinâmicas, meteorológicas e do ambiente, como a ação das ondas, das marés e as correntes marítimas/costeiras (LOPES; MILANELLI; GOUVEIA 2006).

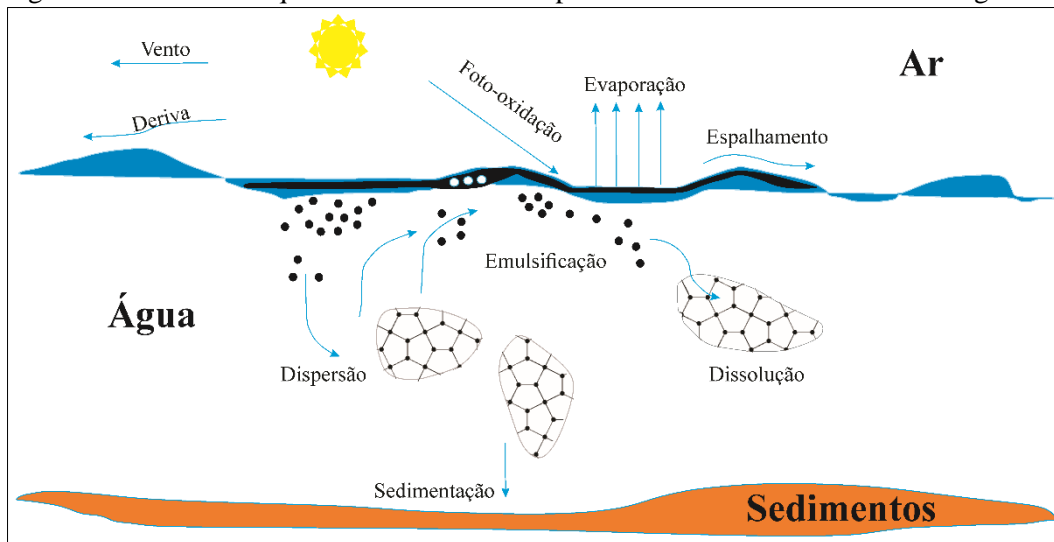
O Quadro 2.2 e Figura 2.1 descreve os processos para a compreensão dos fenômenos que ocorrem quando o óleo é derramado num corpo d'água, a compreensão desses processos é importante como subsídio para as operações de resposta.

Quadro 2.2 - Processos intempéricos que ocorrem após um derramamento de óleo em água.

Processo	Tempo de ação	Propriedades relacionadas	Aspectos físicos
Evaporação	24 horas	Toxicidade; volatilidade	Temperatura da água; radiação e velocidade dos ventos.
Emulsificação	Até um ano	Viscosidade; persistência	Grau de dispersão
Espalhamento	Até semanas depois	Viscosidade; volume	Ventos e correntes de superfície.
Dispersão	24 horas	Viscosidade; fluidez	Ondas e turbulência
Dissolução	24 horas	Solubilidade; peso molecular; volatilidade	Temperatura da água e turbulência
Foto-oxidação	Até um mês	Solubilidade; peso molecular.	Incidência da luz
Biodegradação	Indeterminado	Oxigênio e nutrientes disponíveis.	Temperatura
Sedimentação	Indeterminado	Densidade	Gravidade específica

Fonte: Adaptado de Uchôa (2014).

Figura 2.1 - Processos que ocorrem durante e após um derramamento de óleo em água.



Fonte: Adaptado de Afenyo; Veitch; Khan, 2016.

Evaporação: o processo de intemperismo mais importante, pois, representa o maior efeito na quantidade de óleo restante na água ou na terra após um derramamento. Em alguns dias, um combustível leve como a gasolina, evapora completamente em temperatura ambiente, enquanto que apenas uma pequena porcentagem de um óleo pesado evapora. Em geral, cerca de 80% da evaporação ocorre nos dois primeiros dias após um derrame (FINGAS, 2010).

Emulsificação: processo pelo qual um líquido é disperso em outro sob a forma de pequenas gotículas. As gotas de água podem permanecer em uma camada de óleo de forma estável e o material resultante é completamente diferente. O mecanismo de formação de emulsões ainda não é totalmente compreendido, mas provavelmente começa com a energia das ondas forçando a entrada de pequenas gotículas de água, de cerca de 10 a 25 μm de tamanho, no óleo (WANG; SHEN; ZHENG, 2005).

Espalhamento: mancha de óleo que consiste na expansão horizontal devido às forças de gravidade, inércia, viscosidade e tensão superficial no estágio inicial do derramamento. Imediatamente após o vazamento, a espessura da mancha é importante e influencia no processo de espalhamento, onde as forças dominantes são a de inércia (como força resistiva) e a de gravidade, atuando como força ativa. A viscosidade é uma propriedade física relacionada a este processo pois quanto menos viscoso o fluido, mais rápido será o espalhamento (FAY,1969;1971).

Dispersão: definida como a quebra da coesão da mancha de óleo em pequenas partículas e o espalhamento e difusão na coluna d'água. A dispersão ocorre quando gotas finas de óleo são transferidas para a coluna de água por ação das ondas ou turbulência. Dependendo das condições de óleo e da quantidade de energia das ondas disponível, a dispersão pode ser insignificante ou pode remover a maior parte do óleo. Essa quebra é resultado de ação de ondas e de turbulência na superfície do corpo d'água, além de ser dependente da natureza do óleo, ocorrendo mais facilmente com óleos de baixa viscosidade (REED *et al.*, 1999; ITOPF, 2005).

Dissolução: inclui alguns dos compostos aromáticos de menor peso molecular. A dissolução ocorre imediatamente após o derramamento e, a taxa de dissolução diminui rapidamente após o derrame (FINGAS, 2010;2013). A gasolina, o combustível para motores diesel e os óleos brutos leves são os mais propensos a causar toxicidade aquática por dissolução.

Foto-oxidação: responsável pela alteração da composição de um óleo. Ocorre quando a ação do sol em uma mancha de óleo faz com que o oxigênio e os carbonos combinem e formem novos produtos, as resinas. As resinas podem ser solúveis ou podem formar emulsões de água em óleo (PLATA; REDDY, 2005).

Biodegradação: microorganismos capazes de degradar hidrocarbonetos de petróleo. Muitas espécies de bactérias, fungos e leveduras metabolizam hidrocarbonetos de petróleo como fonte de energia alimentar. As bactérias e outros organismos degradantes são mais abundantes em terras em áreas onde houve infiltrações de petróleo. Os hidrocarbonetos metabolizados por microorganismos são geralmente convertidos em um composto oxidado (LEPO *et al.*, 2003).

Sedimentação: é o processo pelo qual o petróleo é depositado no fundo dos corpos d'água. Ocorre quando as gotículas de óleo atingem uma densidade maior do que a água depois de interagirem com o ambiente. Essa interação ocorre nas margens ou nas proximidades das margens. Geralmente o óleo infiltrado é coberto por outros sedimentos e se degrada muito devagar, podendo atingir lençóis freáticos (LOPES; MILANELLI; GOUVEIA, 2006).

2.4 Índice de Sensibilidade Ambiental

As cartas de sensibilidade ambiental, desenvolvidas no Estados Unidos desde a década de 70, tornaram-se elemento essencial aos planos de contingência para a proteção dos recursos naturais (GUNDLACH; HAYES, 1978; JENSEN; HALLS; MICHEL, 1998). Os mapas eram analógicos e de distribuição limitada. No final da década de 80 as cartas de sensibilidade passaram a ser confeccionadas utilizando SIG, permitindo, assim, sua distribuição em meios digitais (JENSEN; HALLS; MICHEL, 1998).

O mapeamento de sensibilidade e os planos de contingência podem ser voltados, tanto para os efeitos físicos do óleo no litoral, quanto os efeitos ecológicos. As cartas também são elaboradas nos aspectos geomorfológicos considerando os recursos biológicos e recursos de uso humano (JENSEN; HALLS; MICHEL, 1998).

Recentemente esses mapeamentos estão sendo realizados por meio de modelos matemáticos propostos para descrever a deriva do óleo, da população e a dinâmica da comunidade com base nos fatores biológicos e físicos, nos quais são levados em consideração a sensibilidade de cada comunidade, a acumulação de óleo, a capacidade de retenção do substrato e o hidrodinamismo, com base em dois fatores: extensão e durabilidade imediata dos danos (MOE *et al.*, 2000).

O NOAA propôs uma normatização para o mapeamento de sensibilidade ao derramamento de óleo conhecida como “*Environmental Sensitivity Index*” (ESI), no inglês, como tradução proposta é conhecido como Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA), e possui o intuito de reunir as informações de sensibilidade da zona litorânea, em relação aos recursos biológicos e de utilidade humana. Com o auxílio das cartas de sensibilidade iniciou-se o planejamento e ações de resposta a acidentes envolvendo derramamento de óleo (NOAA, 2002).

No Brasil o Ministério do Meio Ambiente elaborou um documento chamado “Especificações e normas técnicas para elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo”, baseado no manual norte-americano elaborado pelo NOAA, o qual possui um Índice de Sensibilidade do Litoral (ISL) adaptado às condições dos ambientes brasileiros (MMA, 2004).

As cartas de sensibilidade, no Brasil, recebem a denominação de Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo (Cartas SAO). Essas cartas são documentos cartográficos de contingência a vazamentos de óleo, as quais, são constituídas fundamentadas pelo ISL, que são índices de sensibilidade com uma escala de 1 a 10 (1 menor sensibilidade) em relação ao tipo de substrato,

levando em conta a sensibilidade de um ambiente, representando uma variável fundamental nas condições de limpeza do ambiente (COSTA, 2013). O documento oficial disponibilizado pelo MMA estabelece que as cartas SAO devem incluir três tipos de informações principais: sensibilidade ambiental do litoral ao óleo, definida pelo ISL; recursos biológicos sensíveis ao óleo existentes na área da carta; atividades socioeconômicas que podem ser prejudicadas por derramamentos de óleo (GUNDLACH; HAYES, 1978).

As cartas incluem três tipos de informações principais: sensibilidade ambiental do litoral ao óleo, estabelecido com base no conhecimento das características geomorfológicas, considerando o tipo de substrato, a declividade e o grau de exposição à energia de ondas; recursos biológicos sensíveis ao óleo existentes na área de estudo, com informação em nível de espécie e especial atenção para espécies protegidas, raras, ameaçadas ou em perigo de extinção, e para locais onde ocorrem concentrações ou fases importantes do ciclo de vida das espécies, como áreas de alimentação, reprodução, berçários, habitats de nidificação e áreas de trânsito/rotas de migração; atividades socioeconômicas que podem ser prejudicadas por derramamentos de óleo ou afetadas pelas ações de resposta, incluindo áreas de recreação e lazer, áreas de pesca, áreas sob gerenciamento especial, como as unidades de conservação, sítios históricos ou culturais (MMA, 2004; IPIECA, 2010).

As Cartas SAO levam em consideração escalas para a magnitude dos vazamentos de líquidos inflamáveis uma das formas de apresentar os níveis de abrangências para derramamentos de óleo são em relação aos volumes da descarga. Assim, para pequenas descargas é considerado um volume de até 8m^3 ; para médias descargas 8 a 200m^3 e grades descargas, acima de 200m^3 . Desta forma, as cartas atendem todos os níveis de derramamento de óleo, a depender da categoria de abrangência: cartas estratégicas (escala regional), cartas táticas (escala intermediária) e cartas operacionais (alto detalhamento das feições de alta sensibilidade ecológica) (MMA, 2004).

Após definição da escala e categoria da carta SAO é possível optar pelos tipos de substratos, que podem ser: consolidados e inconsolidados. Os substratos consolidados são menos vulneráveis ao óleo devido ao grau de impermeabilidade. Os substratos inconsolidados são mais vulneráveis, pela associação do óleo as partículas, pois os sedimentos finos possuem menor vulnerabilidade em relação aos mais grossos e ao cascalho (GUNDLANCH; HAYES, 1978; MICHEL; HAYES; BROWN, 1978).

Um outro tipo índice de sensibilidade leva em consideração os aspectos biológicos e as características físicas de um ambiente, como: exposição em relação às ondas e energia das

marés; declividade das margens; tipo de substrato e produtividade biológica (OWENS; ROBILLIARD, 1981).

Embora, as cartas SAO indiquem quais as áreas são mais sensíveis, apenas esta informação não é o suficiente para orientar as ações de emergência no momento de um acidente. Para atuar de maneira mais efetiva é necessário saber as áreas que o óleo pode atingir e se elas são consideradas sensíveis. A mobilidade do óleo derramado depende de vários fatores que, no mar, são direção e velocidade dos ventos, das correntes atuantes, tipo de óleo, as propriedades da água, o tipo de derramamento e o volume derramado. Em ambientes fluviais o deslocamento do óleo também depende de fatores similares, mas está condicionado às feições geomorfológicas fluviais, já que elas determinam o caminho por onde o fluxo de água segue e, conseqüentemente, o óleo, pois, estas funcionam como barreiras em que o óleo pode ficar aprisionado (BENEDITTI, 2015).

2.5 Índice de Sensibilidade Fluvial

O sistema de classificação proposto para ambientes fluviais foi denominado Índice de Sensibilidade Fluvial (ISF) para acompanhar as denominações atribuídas aos sistemas de classificação costeiro norte-americano, conhecido como Índice de Sensibilidade Ambiental (ISA), e brasileiro, conhecido como Índice de Sensibilidade Litorâneo, para ambientes de água doce inicialmente proposto por Owens e Robilliard (1981), idealizada por meio de modelos marinhos, levando em consideração a persistência do óleo no ambiente, com escala variando de 1 a 5 (MICHEL; HAYES; DAHLIN, 1994). Desta forma, o NOAA adaptou o índice de sensibilidade ambiental costeiro para os ambientes fluviais classificando-os por cores e por uma variação de 1 a 10 (1 apresenta menor sensibilidade), de acordo com os recursos biológicos e recursos de uso humano (MICHEL; HAYES; DAHLIN, 1994).

Pode-se avaliar um ambiente de risco utilizando uma lista de critérios de avaliação para classificação dos ambientes fluviais considerando o tempo de permanência do óleo, o tempo de recuperação do ambiente, a complexidade de limpeza, os valores dos recursos naturais, os efeitos do óleo sobre a vegetação flutuante, vegetação submersa e a pesca (BACA *et al.*, 1985; ADAMS *et al.*, 1983).

Outra proposta de metodologia consiste na classificação de rios e córregos baseada em dois critérios: o grau de dificuldade em conter ou recuperar a área afetada pelo óleo; e a sensibilidade e vulnerabilidade das áreas alagáveis associadas aos cursos d'água. Utilizando os fatores: navegabilidade, padrão da drenagem, tamanho do canal, pontos de coletas de óleo

adequados, fugas e bifurcação de canais, tempo de residência do óleo e o número de áreas alagáveis (HAYES; MICHEL; MONTELLO, 1997).

Os trabalhos mais citados sobre uma adaptação do índice de sensibilidade ambiental foram desenvolvidos por Michel; Hayes; Dahlin (1994) e Hayes; Michel; Dahlin (1995) e consistem em documentos elaborados para o NOAA, os quais definiram modelos de sensibilidade para rios meandantes de médio porte e para bacias hidrográficas que abrangem pequenos rios e córregos (Quadro 2.3).

Quadro 2.3 - Índice de Sensibilidade Ambiental para ambientes fluviais.

ISA	Estuários	Lagos	Rios (grandes rios)
1A	Costões rochosos expostos	Paredões rochosos expostos	Bancos rochosos expostos
1B	Paredões artificiais expostos	Estruturas artificiais rígidas expostas	Revestimentos sólidos verticais
2	Plataformas de argila erodidas pelas ondas	Penhascos rochosos com depósito de tatus, expostos	Bancos de rochas, lajes de leito rochoso
3	Praias de areia fina	Escarpas erodidas em sedimentos inconsolidados	Margens erodidas em sedimentos inconsolidados
4	Praias de areia grossa	Praias de areia	Barras de areia e bancos de baixa declividade
5	Praias mistas de areia e cascalho	Praias mistas de areia e cascalho	Praias mistas de areia e cascalho de baixa declividade
6A	Praia de cascalho	Praia de cascalho	Praia de cascalho de baixa declividade
6B	Enrocamentos	Enrocamentos	Enrocamentos
7	Planícies de maré expostas	Planícies de maré expostas	-
8A	Costões rochosos abrigados	Escarpas abrigadas em rocha, lama ou barro	Escarpas íngremes vegetadas
8B	Estruturas artificiais sólidas abrigadas	Estruturas artificiais sólidas abrigadas	Estruturas artificiais sólidas abrigadas
9A	Planícies de maré abrigadas	Bancos de vegetação herbácea abrigados	Bancos de vegetação herbácea
9B	-	Bancos de areia ou lama abrigados	Substrato lamoso (não vegetado)
10A	Pântanos salobros e	-	-
10B	Manguezais	-	-
10C	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)	Pântanos de água doce (vegetação herbácea)
10D	Pântanos de água doce (vegetação de mata)	Pântanos de água doce (vegetação de mata)	Pântanos de água doce (vegetação de mata)

Fonte: adaptado de Costa (2013); Michel; Hayes; Dahlin (1994) e Hayes; Michel; Dahlin (1995).

A sazonalidade na Amazônia promove a variação do nível das águas do rio Amazonas durante o ano, tendo como consequência o alagamento de uma grande parte da planície aluvial, a qual compreende um complexo ecossistema integrado por lagos, floresta inundável e diversos outros habitats (ARAÚJO *et al.*, 2006). Criando a necessidade de mapear as áreas sob a influência dos terminais hidroviários, e reconhecimento de feições fluviais amazônicas e sua sensibilidade a derramamentos de óleo. Este sistema consiste em uma escala de sensibilidade com variação de 1 a 10 (10 maior sensibilidade) com cores padronizadas, para o mapeamento

de ambientes lacustrinos, estuarinos e fluviais. O ISF brasileiro consiste na hierarquização das feições fluviais da área (Quadro 2.4) baseando nas características geomorfológicas condicionadas ao tempo de permanência do óleo e a facilidade de limpeza e, desta forma, buscam avaliar a resposta do ambiente ao derramamento (ARAÚJO *et al.*, 2006).

Quadro 2.4 - Feições fluviais características do ambiente amazônico.

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

Fonte: Araújo *et al.* (2006).

De acordo com as feições fluviais foi proposto um índice de sensibilidade fluvial com variação de 1 a 10 (1 menor sensibilidade e 10 maior), os índices são adaptados para os ambientes amazônicos (Quadro 2.5).

Quadro 2.5 - Índice de sensibilidade fluvial da região amazônica.

Índice	Feição
1	Estruturas artificiais
2	Laje ou afloramento rochoso
3	Corredeira/ cachoeira
4	Escarpa/ Barranco
5	Praia ou banco de areia/ seixo exposta
6	Praia ou banco de areia/ seixo abrigada
7	Praia ou banco de lama exposto
8	Praia ou banco de lama abrigado
9	Zona de confluência de rios e lagos
10a	Banco de macrófitas aquáticas
10b	Vegetação alagáveis (igapós, várzea, chavascal, campo etc.)

Fonte: Araújo *et al.* (2006).

A metodologia mais recente do índice fluvial para climas quentes e úmidos, sugerida por Costa (2013), ainda não testada em nenhum ambiente fluvial na prática, trata-se de um método baseado nas bibliografias existentes sobre o tema, a qual determina os parâmetros indispensáveis para o índice fluvial. Costa (2013) denominou-o de “Índice de Sensibilidade Fluvial”, o qual possui uma escala de 1 a 10 com grau crescente de sensibilidade.

O presente índice representa a sensibilidade dos ambientes fluviais (Quadro 2.6) nas cartas de sensibilidade ambiental ao óleo (Cartas SAO) com o intuito de auxiliar os planos de contingência, os sistemas de emergência, a análise de risco, a avaliação de impactos ambientais

e os sistemas de apoio à decisão para as ações de resposta em caso de acidentes envolvendo derramamento de óleo (COSTA, 2013).

Quadro 2.6 - Índice de Sensibilidade Fluvial ao Óleo proposto por Costa (2013).

ISF	Feições para Ambiente fluvial
1	-Margem rochosa impermeável, exposta de alta a média declividade (rochas maciças: metamórfica e ígneas) -Estruturas artificiais impermeáveis, expostas (muros, pontes, píers, rampas, instalações portuárias e outros de concreto, madeira ou metal)
2	-Margem rochosa permeável, exposta de alta a média declividade (rochas ígneas e metamórficas com porosidade de fraturas, fissuras ou fendas) -Soleiras com cachoeiras
3	-Soleiras com rápidos e corredeiras -Margens erosivas seguidas por terraço
4	-Margens erosivas seguidas por vertentes -Praia de areia fina a média, erosional ou transitória
5	-Praia de areia grossa, erosional ou transitória -Praia mista de areia e cascalho, erosional ou transitória -Praia de areia fina a média, deposicional
6	-Margem rochosa impermeável, exposta de baixa declividade (rochas maciças: calcário, metamórfica e ígneas) -Margem rochosa permeável, exposta de baixa declividade (rochas ígneas e metamórficas com porosidade de fraturas, fissuras ou fendas) -Margem de matações exposta -Estruturas artificiais permeáveis, expostas (enrocamentos) -Praia de cascalho (seixo e calhau), erosional ou transitória -Praia de areia grossa, deposicional
7	-Estruturas artificiais impermeáveis, abrigadas (muros, pontes, píers, rampas, instalações portuárias e outros de concreto, madeira ou metal) -Margem rochosa impermeável, abrigada de baixa declividade (rochas maciças: metamórficas e ígneas) -Praia mista de areia e cascalho, deposicional -Praia de cascalho (seixo e calhau), deposicional -Ilhas fluviais
8	-Margem rochosa permeável, abrigada de alta a média declividade (rochas ígneas e metamórficas com porosidade de fraturas, fissuras ou fendas) -Margem rochosa permeável, abrigada de baixa declividade (rochas ígneas e metamórficas com porosidade de fraturas, fissuras ou fendas) -Margem de matações abrigada -Estruturas artificiais permeáveis, abrigadas (enrocamentos)
9	-Margem rochosa permeável (rochas sedimentares com porosidade cárstica e feições de dissolução) -Dique natural seguido por terraços ou vertentes -Dique natural seguido por planícies de inundação -Depósito de barras de meandro -Depósito de barras de meandro alagada -Confluência com coalescência de planícies fluviais -Banco de substrato lamoso
10	-Vegetação ciliar -Meandros abandonados -Lagos de meandros -Banco de macrófitas -Planície de inundação com lago -Planície de inundação com vegetação gramínea -Planície de inundação com vegetação herbácea -Planície de inundação com vegetação arbustiva -Planície de inundação com vegetação arbórea

Fonte: Costa (2013).

CAPÍTULO III

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

3.1.1 Localização

A cidade de Monte Alegre está localizada na região norte do Brasil, porção oeste do Estado do Pará, distante 880 km (via fluvial) da capital Belém, inserida na folha de articulação SA-21, mesorregião do Baixo Amazonas e microrregião de Santarém e possui área de 20.400 km² (IBGE, 2010). Limita-se ao norte com os municípios de Almerim e Alenquer; ao sul com Prainha e Santarém, ao leste por Prainha e Almerim, ao oeste com Alenquer.

Suas coordenadas geográficas 02° 02'27" S e 54° 04'28" W. A cidade de Monte Alegre, sede municipal, está situada na porção sudoeste do município, na margem esquerda do panamá do Gurupatuba, próximo à ligação deste com o rio Amazonas (Figura 3.1). A população Monte Alegre é de aproximadamente 56.391 habitantes (IBGE, 2010).

O município possui 9 UCs (Unidades de Conservação) de Proteção Integral do Estado do Pará, uma delas é o Parque Estadual de Monte Alegre (PEMA) criado em 09 de novembro de 2001, por sua grande relevância para o patrimônio histórico, como as descobertas de pinturas rupestres e seu grande potencial como geosítio.

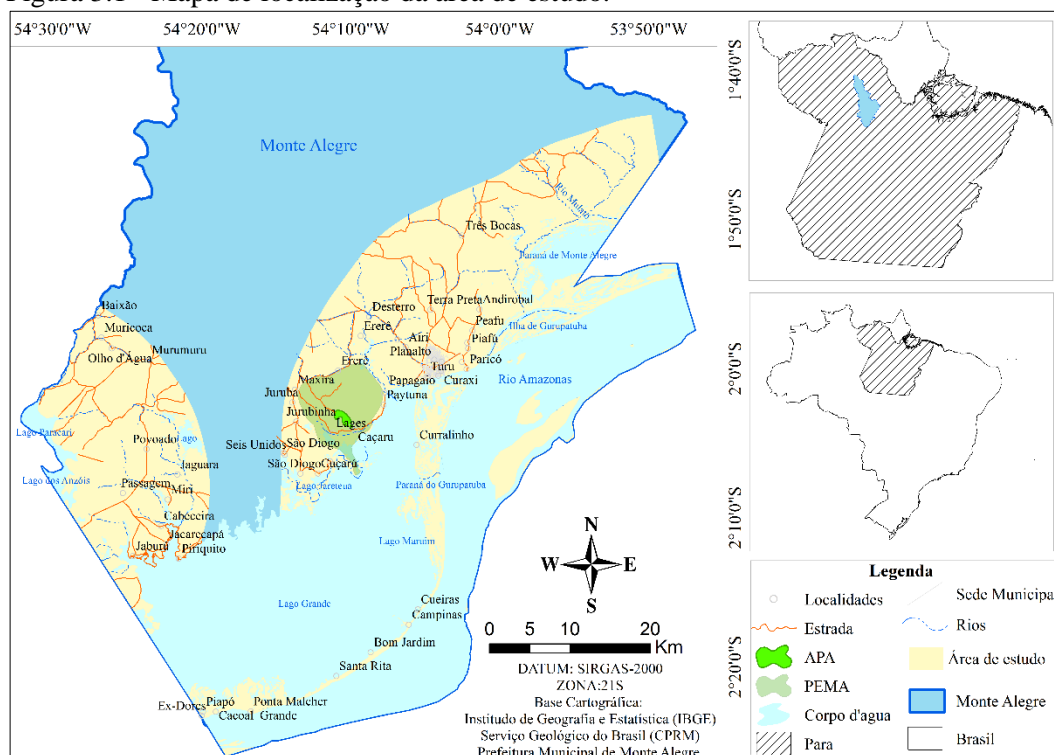
O PEMA está inserido em sua totalidade de extensão na APA Paytuna, ambos localizados dentro dos limites municipais (MMA, 2009).

As principais vias de acesso ao município são por meio fluvial, terrestre e aérea. A travessia entre Santarém e Monte Alegre, pelo rio Amazonas existem embarcações do tipo barco motor e lanchas rápidas que cobrem diariamente este percurso com duração de viagem de respectivamente 6 horas e 4 horas.

Por via fluvial há uma balsa que sai todos os dias de Santarém, transportando pessoas e veículos, inclusive ônibus de passageiro, levando 2h 30min para fazer o percurso Santarém/Santana do Tapará, de onde, saem ônibus que percorrem a rodovia PA-255, até cidade de Monte Alegre num tempo aproximado de 1h 30min.

Por via fluvial a partir de Belém, leva-se cerca de 43 horas em navios. Pode-se chegar também a Monte Alegre diretamente de Belém por via aérea, em aviões a jato ou bimotores que cobrem irregularmente este trecho.

Figura 3.1 - Mapa de localização da área de estudo.



3.1.2 Geologia

A Bacia do Amazonas é uma bacia intracratônica e abrange uma área de 500.000 km², tem uma forma alongada, tendendo a uma direção leste-noroeste (Figura 3.2). A parte estreita da bacia, a leste, tem cerca de 300-500 km de largura. Localizam-se entre 1° e 8° graus de latitude sul e entre 51° e 63° de longitude oeste (CAPUTO, 1984). Está distribuída em partes dos estados do Amapá, Pará e Amazonas, entre os escudos das Guianas, ao norte e, Brasileiro, sul, possuindo fronteira a oeste, com a Bacia do Solimões, através do Arco de Purus e a leste, com a Bacia Mesozoica do Marajó, através do Arco de Gurupá.

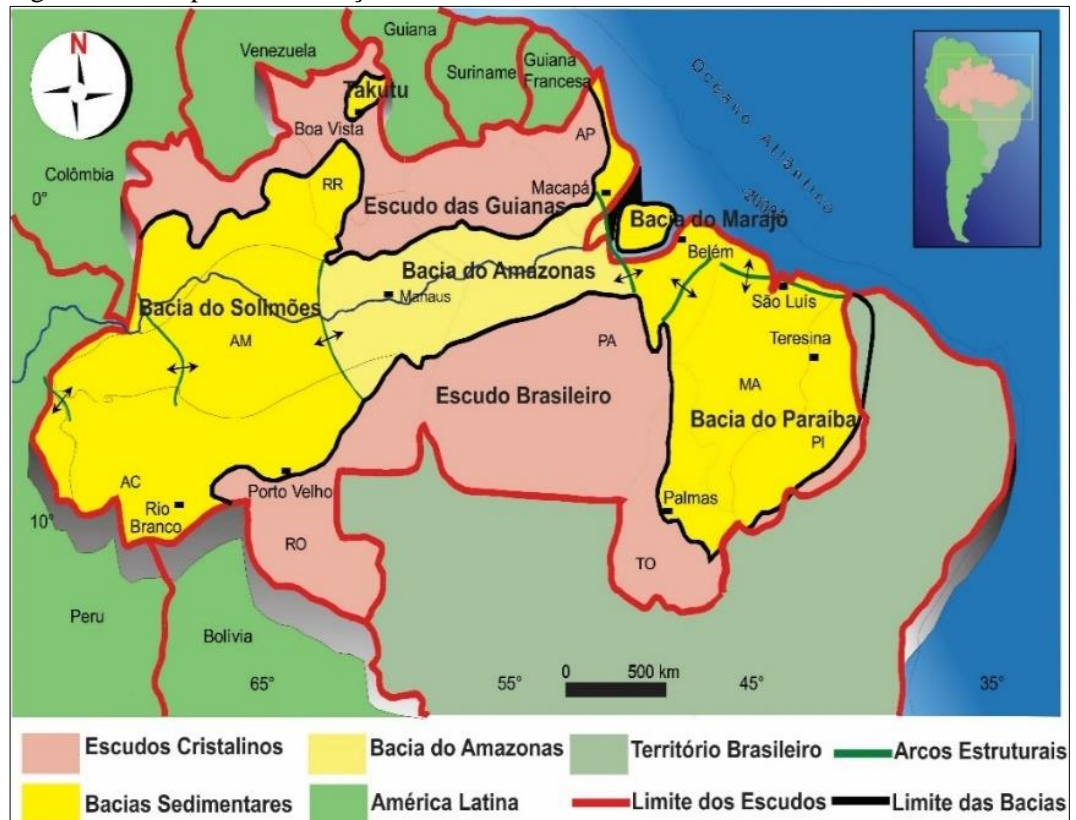
Os 5.000 m de preenchimento sedimentar e ígneo que compõem o arcabouço estratigráfico da Bacia do Amazonas, evidenciando duas importantes megassequências de primeira ordem, são elas uma Proterozoica e uma Fanerozoica (CUNHA; MELO; SILVA, 2007).

O município de Monte Alegre concentra em uma área relativamente pequena, as melhores exposições de rochas paleozoicas e terciárias (Figura 3.3), essas exposições são resultantes de eventos tectônicos responsáveis pelo alçamento em geometria dômica, dos pacotes rochosos existentes, desta forma, as rochas encontram-se truncadas por falhamentos tardios que encaixaram em *grabens* as rochas terciárias da Formação Alter do Chão, permitindo a exposição de afloramentos de rochas cobrindo praticamente todo o intervalo entre o

Devoniano Médio e o Terciário (CAPUTO; RODRIGUES; VASCONCELOS, 1971; CUNHA; CAPUTO, 1974).

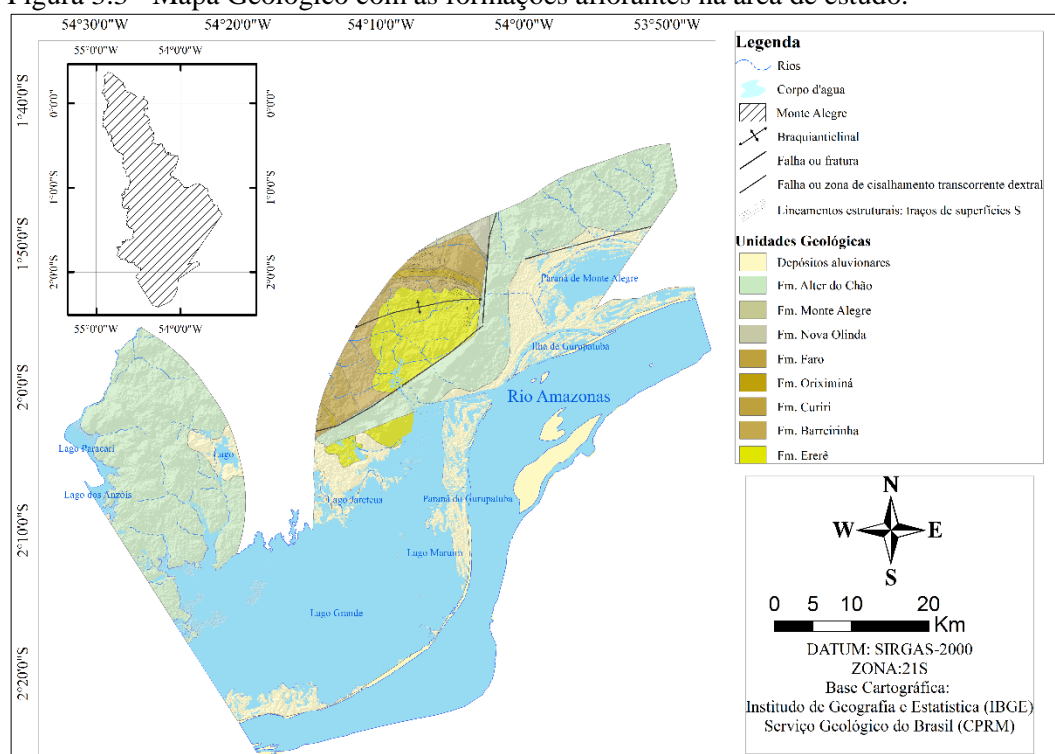
No presente trabalho é abordada a Formação Alter do Chão e os depósitos aluvionares, pois, sofreriam maior impacto, dado as suas características de formação, em detrimento das formações com afloramentos rochosos.

Figura 3.2 - Mapa de localização da Bacia do Amazonas.



Fonte: Adaptado de Cunha (2000).

Figura 3.3 - Mapa Geológico com as formações aflorantes na área de estudo.



3.1.2.1 Grupo Javari

O Grupo Javari agrupa clásticos flúviolacustres que integram a Sequência Cretácea-Terciária, a qual possui sua evolução vinculada à atividade orogênica andina, com relaxamento dos esforços causados pela geotectônica (EIRAS *et al.*, 1994). Este grupo está presente nas bacias Amazonas e Solimões e reúne as formações Alter do Chão e Solimões.

3.1.2.1.1 Formação Alter do Chão

A Formação Alter do Chão possui sua primeira denominação com o nome de Série, Grupo ou Formação Barreiras, em decorrência as similaridades ao Grupo Barreiras (ARAÚJO *et al.*, 1976; PASTANA, 1999). Somente com as perfurações realizadas pela PETROBRAS em Alter do Chão ocorreu a renomeação desta formação, que passou de Formação Barreiras para Formação Alter do Chão (KISTLER, 1954; CAPUTO; RODRIGUES; VASCONCELOS, 1971).

A Formação Alter do Chão foi designada por Kistler (1954), a qual representa uma grande variedade de arenitos e argilitos (incluindo caulins), com subordinada fração conglomerática (MORALES, 1959), de idade Neocretácea (DAEMON; CONTREIRAS, 1971). Os arenitos são de granulometria de finos a médios, comumente com estratificação cruzada, apresentando intercalações argilosas. Os argilitos são pouco consolidados e afloram com lentes

de areia. Os conglomerados contêm seixos de quartzo (de 5 cm a 15 cm de diâmetro) (TANCREDI, 1996).

A Formação Alter do Chão pertence ao Grupo Javari, assentada sobre a discordância do topo Paleozoico, sua deposição deu-se ao longo do Cretáceo, implantando um sistema fluvial de alta energia estendendo-se até as bacias subandinas (CUNHA, 2000). Composta por uma camada espessa de arenitos intercalados com camadas de pelitos e, em menor escala, de conglomerados com níveis latertícos subordinados aos arenitos, argilitos (TANCREDI, 1996). Os arenitos são finos a médios, marrom-avermelhados e variegados, argilosos, caulínicos, com estratificação cruzada. Os pelitos, representados por siltitos e argilitos em proporções variadas, são vermelhos e variegados, maciços ou laminados que caracterizam o ambiente fluvial de alta energia/lacustrinodeltáico (CAPUTO; RODRIGUES; VASCONCELOS, 1971). Rossetti e Neto (2006) apontam algumas fácies de influência marinha a oeste da Bacia do Amazonas.

Pode ser encontrada aflorando em corte de estradas, nas margens da PA-423 e da estrada que leva a gleba Inglês de Souza, até cerca de 9 km da cidade de Monte Alegre. Afloram ainda os morros que circundam a cidade e em algumas, encontram-se afloramentos também nas encostas das serras do Ererê e Paytuna são comuns fragmentos de madeira fossilizada e várias impressões de folhas, tais como aquelas encontradas por Hartt (1898). É indicativa de ambiente deposicional continental com influências fluviais.

3.1.2.1.2 Depósitos aluvionares

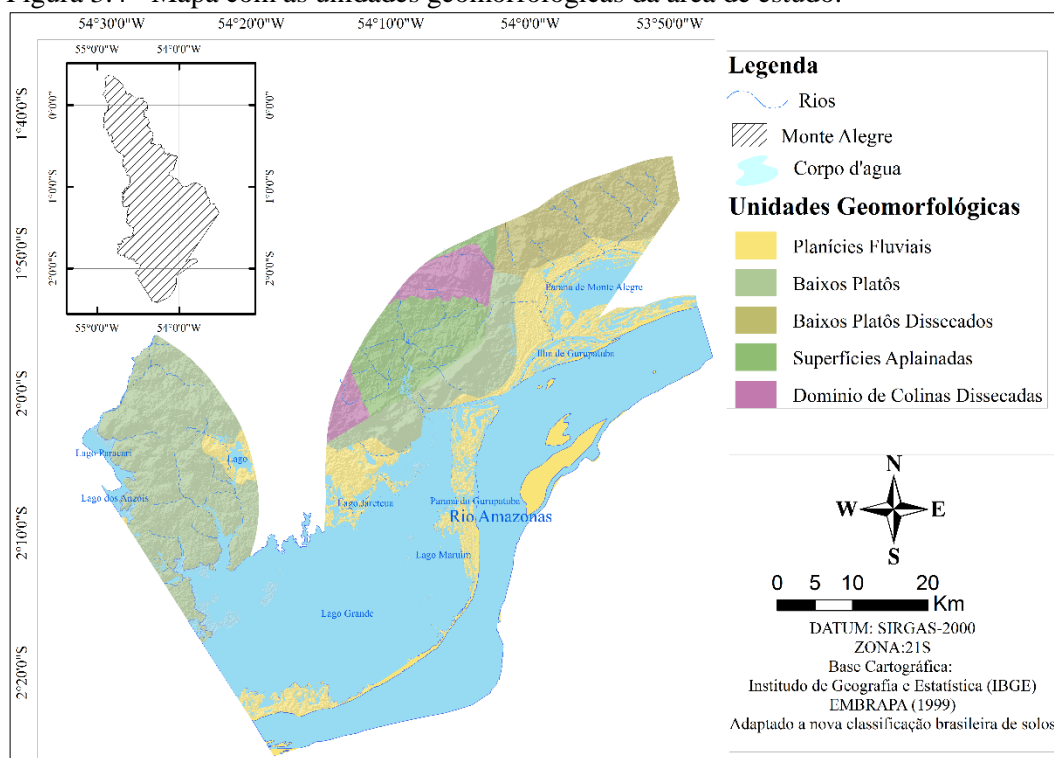
São depósitos fluviais recentes, correspondentes a argilas, siltes, areias, cascalhos e conglomerados, dispostos predominantemente ao longo dos grandes rios que drenam a área e em suas margens. Representam sedimentos clásticos inconsolidados relacionados às planícies aluvionares, os quais constituem tipicamente depósitos de canais (barras em pontal e barras de canais) e de planícies de inundação, com morfologia típica de planícies sedimentares associadas ao sistema fluvial, podendo atingir dezenas de quilômetros de extensão e largura, a exemplo dos rios Amazonas e Tapajós (IRIONDO, 1984; VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008). Estes depósitos são, de modo geral, constituídos por sedimentos arenosos a argilosos, com níveis de cascalho e matéria orgânica, inconsolidados a semiconsolidados (VASQUEZ; ROSA-COSTA, 2008).

3.1.3 Geomorfologia

A área de estudo possui cinco unidades morfoestruturais (Figura 3.4): Planícies Fluviais ou Fluviolacustres (Planície Amazônica), Baixos Platôs (Planalto Rebaixado da Amazônia),

Baixos Platôs Dissecados e Domínio de Colinas Dissecadas e de Morros Baixos (ARAÚJO *et al.*, 1976; JORGE-JOÃO; TEIXEIRA; FONSECA, 2013).

Figura 3.4 - Mapa com as unidades geomorfológicas da área de estudo.



3.1.3.1 Planícies Fluviais ou Fluviolacustres

A Planície Amazônica ou Fluviolacustres possui seu eixo principal situado no rio Amazonas, sobre influência do Alto Estrutural de Monte Alegre, proporcionando diferenças na forma do relevo local (CUNHA *et al.*, 1994). Suas altitudes geralmente ocorrem entre 0 e 20m. Possui uma geometria alongada sobre o *trend* preferencial W-E.

A principal característica desta unidade são as cheias e vazantes. As áreas alagadas e inundáveis são fenômenos resultantes dos pulsos do rio Amazonas. As áreas alagadas permanecem sempre submersas, mesmo nos períodos com menor pluviosidade. As áreas inundáveis correspondem as regiões alagadas apenas no período de enchentes. As feições mais comuns desta unidade são os rios com cursos anastomosados e suas numerosas ilhas, além dos paranás, furos, igarapés, vales fluviais de foz afogadas, lagos, diques aluviais, canais e cordões de areia e várzeas (TANCREDI, 1996; JORGE-JOÃO; TEIXEIRA; FONSECA, 2013).

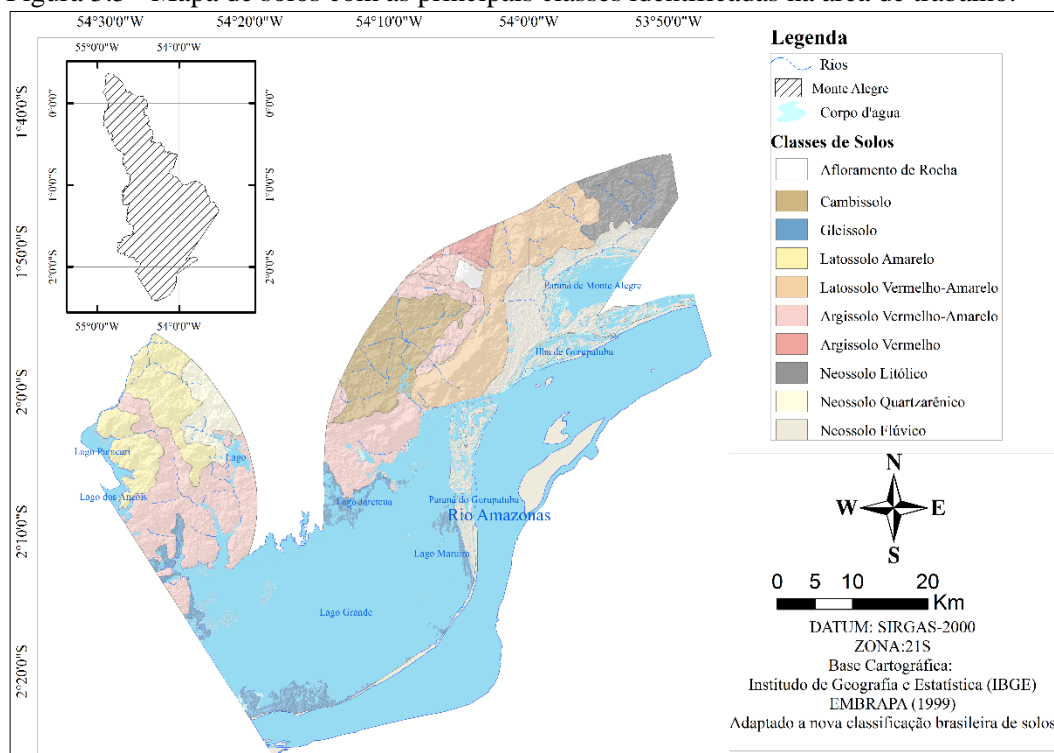
A Planície Amazônica consiste de sedimentos fluviais de idade holocênica e apresenta notável diversidade de formas de relevo, destacando-se planícies de inundação prolongadamente inundáveis a sazonalmente inundáveis. Existe, portanto, um amplo domínio de solos hidromórficos, muito maldrenados e de alta fertilidade natural, nas planícies de

inundação (predomínio de Gleissolos Háplicos eutróficos ou distróficos com argilas de atividade alta e, subordinadamente, Neossolos Flúvicos eutróficos e Plintossolos Háplicos) (EMBRAPA, 1998).

3.1.4 Solos

Os solos na área de estudo são predominantemente argirissólicos vermelho-amarelo. Os outros solos que ocorrem são: o latossolo amarelo, latossolo vermelho-amarelo, argissolo vermelhos, neossolo quartzarênicos, cambissolo, gleissolo, neossolo flúvico, neossolo litólicos e afloramento de rocha (Figura 3.5). De modo geral, os solos da região são distróficos, isto é, quimicamente pobres, com elevada acidez e pouca disponibilidade de nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas cultivadas. (PRIMAZ, 1998; EMBRAPA, 1998; MMA, 2009).

Figura 3.5 - Mapa de solos com as principais classes identificadas na área de trabalho.



3.1.4.1 Latossolo Vermelho-Amarelo

Esta classe de solo apresenta com bastante variação quanto à capacidade de infiltração, retenção de umidade, taxa de agregados. Geomorfologicamente, esta classe de solo ocupa áreas com relevo plano e suave ondulado, com algumas de suas variações apresentando a presença de horizontes concrecionários em várias posições no perfil do solo (EMBRAPA, 1998;1999).

3.1.4.2 *Argissolo Vermelho-Amarelo.*

De um modo geral, podem ser encontrados em relevo que varia de plano a forte ondulado e sob os mais variados tipos de vegetação, sendo que, na presente área, ocorrem predominantemente, sob vegetação de floresta ombrófila densa, além das savanas e distintas formas de sucessão secundária e pastagens.

São solos bem drenados a moderadamente drenados, com baixa capacidade de retenção de umidade, textura arenosa/média e média/argilosa, com estrutura pequena e média em blocos subangulares, ligeiramente plásticos a ligeiramente pegajosos, profundos e porosos ocorrendo em relevo plano a suave ondulado, e forte ondulado. Esta classe de solos presença de concreções ferruginosas em diferentes profundidades no perfil do solo (EMBRAPA, 1998; 1999).

3.1.4.3 *Gleissolo*

São formados de sedimentos aluviais depositados em áreas de várzeas, depressões e planícies aluviais de rios e lagos, sob influência do lençol freático próximo ou na superfície, durante parte do ano. A alternância de períodos secos com períodos com excesso de água, onde é possível o arejamento das camadas do solo, faz com que, além de forte gleização, causada pela redução do ferro em condições anaeróbicas, pode ocorrer mosqueados de cores amareladas e avermelhadas, indicando a oxidação do ferro.

São solos de baixa condutividade hidráulica e, portanto, de difícil drenagem interna. Para serem drenados, o terreno deve ser sistematizado com a formação de camalhões, para eliminar o excesso de água superficialmente. Esses solos devem ser manejados com teor de umidade adequado, pois tornam-se duros quando secos e plásticos e pegajosos quando molhados, tornando-se, nesta condição, altamente suscetíveis à compactação pelo tráfico de máquinas e/ou animais (EMBRAPA, 1998; 1999).

3.1.4.4 *Neossolo Flúvico*

São solos minerais, não hidromórficos, pouco desenvolvidos, que apresentam apenas um horizonte A diferenciado, sobrejacente a camadas estratificadas, as quais, normalmente, não guardam relações pedogenéticas entre si. São desenvolvidos de sedimentos não consolidados, de natureza variada, com relevo plano e sob vegetação de floresta equatorial higrófila de várzea.

Os Solos Aluviais apresentam classes texturais bastante distintas, com variação acentuada em profundidade e horizontalmente, podendo ser encontrados solos de textura arenosa, média, argilosa e siltosa. São normalmente eutróficos e distróficos, mas, raramente, álicos e podem ser de argila de atividade alta ou baixa. Quanto à potencialidade ao uso agrícola,

estão sendo cultivados malva, juta, cacau, mandioca, banana, milho, arroz e batata doce, devido encontrarem-se na posição de várzea alta, onde a ação das enchentes periódicas é menos intensa. Quando protegidos das enchentes e drenados, esses solos apresentam grande potencial para exploração com grande variedade de culturas (EMBRAPA, 1998; 1999).

3.1.5 Clima

As condições climáticas do município de Monte Alegre contrastam com as do seu entorno e correspondem as características dos climas tropicais. Observa-se que os maiores valores médios de pluviosidade ocorrem nos meses de dezembro a maio, atingindo o seu máximo em março (700 mm a 2.000 mm) e menores valores de junho a novembro, caracterizando respectivamente os períodos “chuvoso” e “menos chuvoso” e precipitações pluviométricas médias mensais superiores a 200 mm, sendo o mês de abril o auge desse período (317,2 mm), contribuindo com 18% do total anual de chuva (MMA, 2009). A insolação média mensal, durante o verão, é sempre superior a 225,00 horas (OLIVEIRA-JUNIOR *et al.*, 1999).

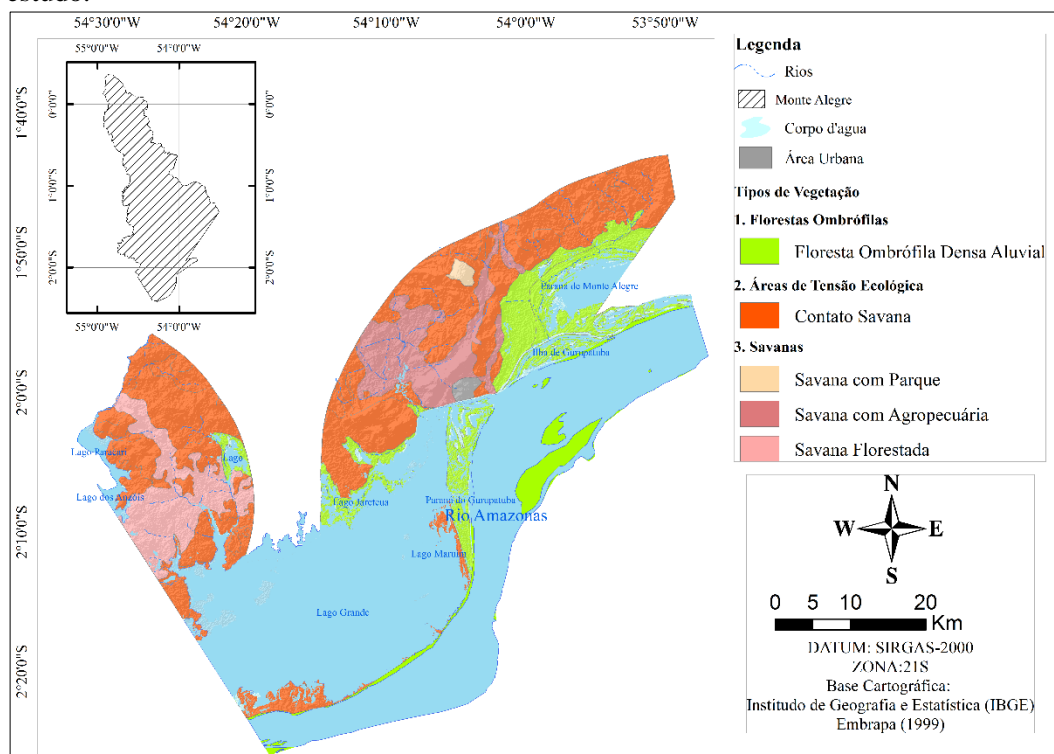
A temperatura apresenta média anual de 25,7 °C a 27,7 °C, e valores médios para as máximas de 30 °C a 32,5 °C e para as mínimas de 21 °C a 22 °C. A umidade relativa apresenta valores médios de 72,8% e valores médios mensais entre 62,8% (outubro) e 79,9% (março e abril) (MMA, 2009; EMBRAPA, 1999).

O tipo climático dominante no Município é do tipo Aw, clima tropical chuvoso, no qual as temperaturas médias mensais nunca atingem valores inferiores a 18 °C e a precipitação do mês menos chuvoso alcança menos de 60 mm (MMA, 2009).

3.1.6 Vegetação

As áreas relacionadas à vegetação nativa, no Município de Monte Alegre, constituem cerca de 70,31 % do espaço municipal, cobrindo uma superfície de 14.226,25 km², estando subdivididas em floresta, savana e várzea (Figura 3.6).

Figura 3.6 - Mapa de vegetação contendo os ecossistemas mais representativos da área de estudo.



A floresta representa o ecossistema dominante, está situada na porção central do município, bem caracterizada na bacia do rio Maecuru (médio e alto cursos), representada, fundamentalmente, pela Floresta Tropical Densa (MMA, 2009).

A savana ocorre preferencialmente na porção sul do município, bem representado na Planície do Ererê (noroeste da sede municipal) e na região do Centro Grande, entre os lagos Grande e Paracari.

A várzea corresponde àquelas áreas submetidas temporariamente às inundações dos rios Amazonas, formadas pela justaposição de ilhas, diques marginais e cordões fluviais, entrecortados por furos ou paranás, igarapés, canais e lagos, que se interligam. Suas áreas mais características situam-se a nordeste e sul da sede municipal, na foz do rio Maecuru e na porção sul do Lago Grande.

3.1.7 Hidrografia

A bacia hidrográfica do rio Amazonas ocupa uma área de aproximadamente 6.110.000 km², desde sua nascente nos Andes Peruanos até sua foz no oceano Atlântico. Sua abrangência no território brasileiro é da ordem de 132.145 m³/s (73,6% do total do País), com uma vazão anual média de aproximadamente 200.000 m³/seg. e largura média de 5 km (ANA, 2016).

Em Monte Alegre o rio Amazonas mede cerca de 9 km de largura em frente à Ilha de Gurupatuba, a leste. Dentro do município a largura do Amazonas varia de 500 m (a jusante da Vila de Cuieiras) a 12 km da margem esquerda do Paraná de Monte Alegre até o meio do rio, na divisa com o município de Prainha (PASTANA, 1999). Nas adjacências da região o rio Amazonas mostra um trajeto anômalo, com o curso do rio desviando-se em “U” (desvio de E-W para a orientação N-S), abruptamente, voltando novamente ao seu curso normal E-W após cerca de 40 km. A montante dessa anomalia, na desembocadura do Rio Tapajós, o Amazonas se alarga formando “baías internas” caracterizadas por margens alagadas e transpostas, com ilhas que desenham padrão anastomosado (SILVEIRA *et al.*, 1984).

A bacia do Maecuru ocupa aproximadamente 75% de toda a área do município, constituindo o principal curso d’água, podendo ser definido como um rio tipicamente montealegrense, tendo sua bacia confinada, integralmente no município. O médio e o alto cursos do rio Maecuru, situados ao norte da rodovia PA-254, são de difícil acesso, devido à presença de inúmeras cachoeiras e corredeiras, obstáculos naturais à navegação. O seu baixo curso, ao contrário, pode ser facilmente acessado por embarcações de pequeno porte (motor-de-popa), a partir da sede municipal, através do lago Grande de Monte Alegre, local onde o rio Maecuru deságua (PASTANA, 1999). O rio Maecuru corre no sentido sul, segundo trechos sinuosos e pouco profundos, extremamente encachoeirados, atravessando regiões desabitadas e de aspecto selvagem, com fauna e flora exuberantes. Próximo à foz, apresenta como característica marcante a presença de meandros ou curvas pronunciadas, que cortam a região de várzea, compondo, no conjunto, um padrão tipicamente anastomosado. Ainda no baixo curso do Maecuru, existem inúmeros lagos (MMA, 2009). Antes de chegar ao Lago Grande, o rio Maecuru apresenta uma bifurcação. Um dos ramos da bifurcação segue para sul, desaguando diretamente no Lago Grande, enquanto o outro inflete para leste, segue contornando o referido lago e, finalmente, liga-se ao paraná do Gurupatuba, que passa em frente à cidade de Monte Alegre e vai desaguar no rio Amazonas, próximo ao limite de Monte Alegre com Almeirim. A foz do rio Maecuru, a partir da bifurcao supramencionada, apresenta uma morfologia de delta, contrastando com as águas barrentas do Amazonas e do Lago Grande (PASTANA, 1999).

Na rea de estudo, as feioes mais comuns são de vales afogados, os quais possuem relao direta com planície do rio Amazonas, alcançando quase todo seu percurso. Estes vales compreendem um sistema complexo, que estão vinculados a prováveis desajustamentos da paisagem devido ao grande volume de água na região. Outras explicaoes para os surgimentos destes vales afogados são: a) a existência de barragem nas desembocaduras dos tributários por

sedimentos provindos do rio principal; b) implantação de regime estuarino durante a transgressão marinha holocênica, fato evidenciado até algumas centenas de quilômetros a montante da foz atual e; c) subsidência de blocos de falhas por movimentos neotectônicos, atingidos trechos de até dezenas de quilômetros (IRIONDO, 1982).

As séries de bancos são muito irregulares em dimensões e orientações, o que indica grande atividade morfogenética, deste modo, nas proximidades ao Lago Grande, após a série de banco de curvaturas com 18 km do rio Tapajós, a planície de banco desaparece e um pouco mais a jusante reaparece em forma de bancos longos, muito estreitos e paralelos ao canal. Essas séries possuem dimensões entre 50 e 90 km de comprimento e de 3 a 6 km de largura e encontram-se sempre junto ao canal (IRIONDO, 1982). O Lago Grande é um típico lago de várzea permanente, raso, que recebe diretamente ou através do rio Gurupatuba as águas brancas do rio Amazonas como também águas claras do rio Maecuru.

Assim, dado a dinâmica hidrográfica de Monte Alegre, pode-se concluir que seus lagos estão concentrados na porção sul do município, nas bacias dos rios Amazonas e Maecuru, intimamente relacionados com as áreas de várzea. Durante as enchentes, inúmeros lagos tornam-se interligados, constituindo um único corpo de água; no verão, quando as águas atingem seus níveis mínimos, esses lagos tornam-se novamente individualizados, variando, a cada período (cheia/seca), sua forma e dimensões. No processo normal de construção das várzeas possuem margens pouco definidas e profundidades que variam de 2 a 6 m, durante as cheias, e de poucos centímetros a 2 m, nas vazantes (PRIMAZ, 1998).

3.2 Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizada uma imagem RapidEye do ano de 2015 cedida para pesquisa e utilização acadêmica do catálogo de imagens do Ministério de Meio Ambiente (MMA), com resolução espacial de 5 m (Tabela 3.1). Em conjunto com as imagens foram utilizados *shapefiles* com dados de geologia e geomorfologia (do *Geobank*, banco de dados do Serviço Geológico Brasileiro – CPRM), solos e vegetação (Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará - SEMMA). A manipulação dos *shapefiles*, o cálculo da matriz de confusão para o índice Kappa e o mapa final de sensibilidade fluvial foram produzidos utilizando o *software ArcMap 10.3*, com a licença acadêmica e a classificação da imagem utilizada foi realizada no *software eCognition Developpe versão 9.0.1* com licença institucional do Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido – LAIT na Universidade Federal do Pará.

Tabela 3.1 - Características da cena utilizada para a proposta de trabalho.

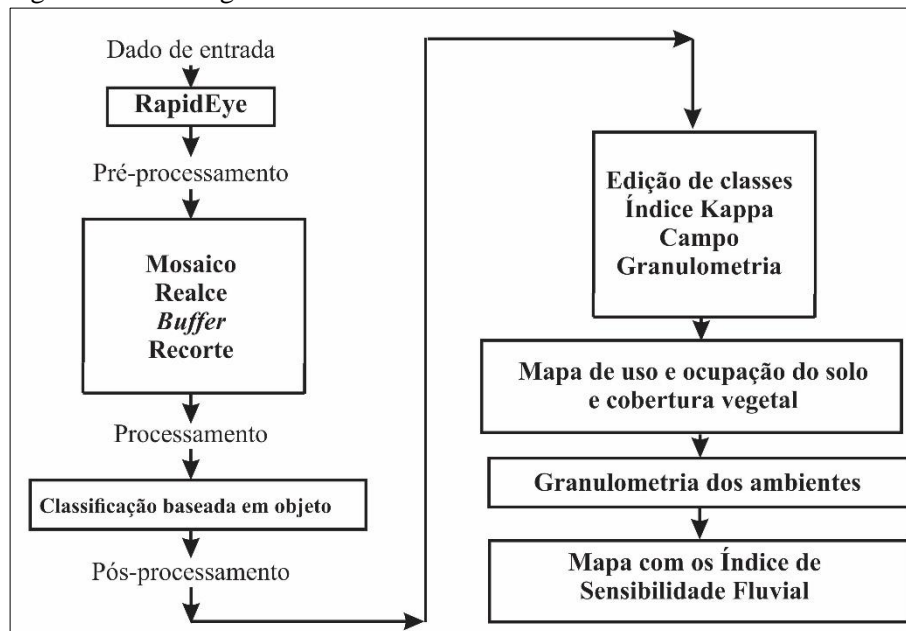
Item	Descrição
Data da imagem	18/09/2015
Horário	11:43:33 -03:00
Nome	2238201_2015-09-18_RES_3A_318564_CR
Tamanho do pixel (ortorretificada)	5 m
Tamanho da imagem utilizada	Cerca de 2303,79 km ² , largura de 71,45 km, comprimento 74,21 km, 2,23 Gbytes/25 km ao longo da órbita para 5 bandas
Número total de linhas e colunas	239128299 (14589 L x 16391 C)
Coordenadas da cena utilizada	X1= 9808506,62091; X2= 774106,899439 Y1= 856061,899439; Y2= 9735561,62091
Ângulo de elevação da iluminação	7.785236e +01
Ângulo de incidência	1.210000e +00
Datum	WGS_1984
Formato	GeoTIFF
Projeção	WGS 84 / UTM zone 22s
Data de registro	27/11/2015
Temperatura no ano de aquisição da imagem	T _{min} 21 °C e T _{max} 32,9 °C

Fonte: RapidEye (2017).

3.3 Métodos

O fluxograma (Figura 3.7) representativo das fases da metodologia incorpora as fases de pré-processamento, processamento e pós-processamento, bem como, todas as etapas contidas na construção dos resultados.

Figura 3.7 - Fluxograma das fases adotadas no trabalho.



3.3.1 Pré-processamento da imagem RapidEye

O mosaico da cena utilizada foi confeccionado no *software ArcMap 10.3*, por meio da ferramenta *ArcToolBox*, a qual disponibiliza um conjunto de funções integradas no *Data Management Tools*, estas funções possibilitam a manipulação de arquivos *Raster (Raster*

Dataset), assim, diversas modificações podem ser realizadas, como a criação de um novo *raster*, que incorpore várias cenas em uma, por meio da ferramenta *Mosaic to New Raster*. Desta forma, o mosaico da área de estudo possui 9 imagens agrupadas. A área total do mosaico original corresponde a 5151 km² e engloba toda a porção sul do município de Monte Alegre.

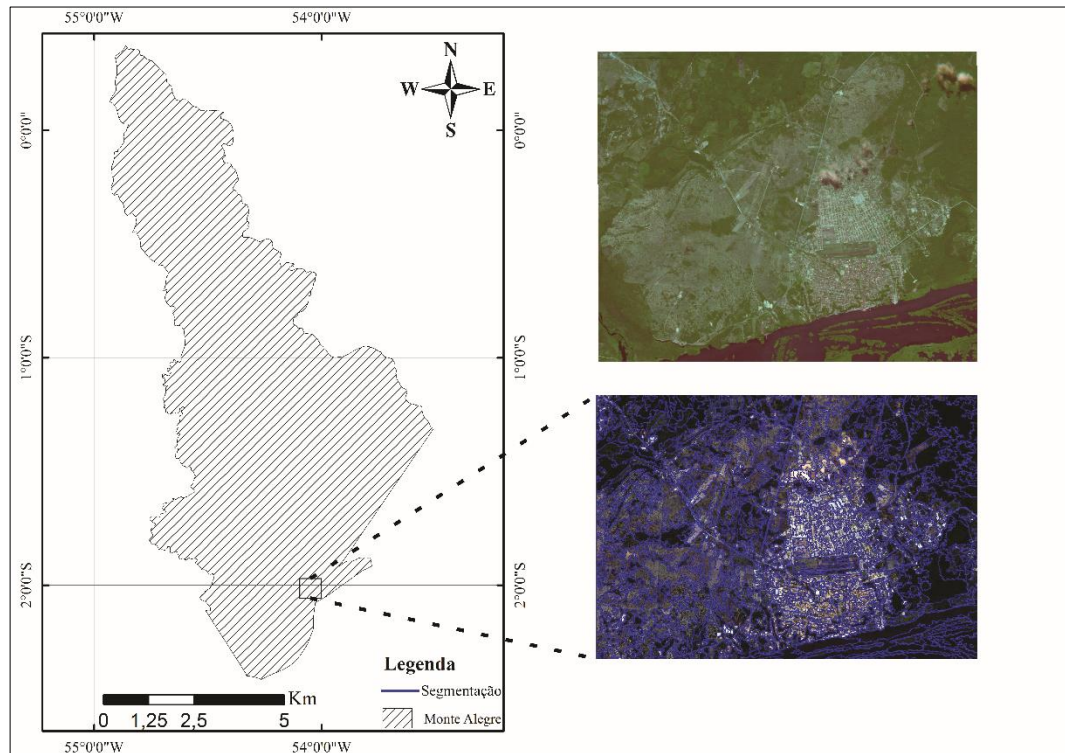
Para o realce aplicado no mosaico da imagem RapidEye utilizou-se a ferramenta *Image Analysis*, do *ArcMap 10.3*, no mosaico foi aplicado o algoritmo *Percent Clip*, que realiza um realce automático com um corte nos níveis pretos e brancos do histograma. Além do algoritmo aplicou-se um contraste de valor 10 e um fator γ com valor 2.00. Os valores encontrados foram os que mais se adequaram as características da imagem.

Para a confecção do *buffer* a foi utilizada a ferramenta *Buffer*, do pacote *Geoprocessing*. A ferramenta permite escolher a geometria do *buffer* e seu raio de influência. A área original do mosaico ultrapassava a do município, além do mais, em caso de algum acidente com líquidos inflamáveis possivelmente o óleo não avançaria mais que 20 km. Com o *buffer* pronto evidenciou-se que este ultrapassava os limites geográficos do município, desta forma, optou-se por recortar o *buffer* original de acordo com os limites estabelecidos.

3.3.2 Processamento da imagem RapidEye

O processamento da imagem RapidEye (2015) ocorreu no *software* eCognition, considerando 3 etapas: segmentação, construção de uma hierarquia de classes e classificação. A primeira etapa consistiu na criação de objetos na imagem a partir do algoritmo de segmentação *Multiresolution*. O procedimento consiste no crescimento de regiões que agrupam pixels ou subregiões em regiões maiores minimizando a heterogeneidade média para um dado número de objetos e maximizando sua homogeneidade baseado em parâmetros definidos (TRIMBLE, 2014). Os parâmetros utilizados na segmentação foram: 450 de escala; 0,7 de cor versus 0,3 de forma; 0,5 de compactação versus 0,5 de suavidade (Figura 3.8).

Figura 3.8 - Segmentação *Multiresolution* a partir do *software* eCognition (linhas em azul) na área de estudo.



Fonte: O autor.

A construção das hierarquias é um requisito para a classificação, assim, foram escolhidas 13 classes, das quais 6 classes seguiram as recomendações do IBGE (2013), para mapas de uso da terra e, as 6 classes restantes seguiram a metodologia de Araújo *et al.* (2006) de feições fluviais características do ambiente amazônico, além da classe nuvem.

Utilizou-se para a classificação o algoritmo *object-based classification*, o qual analisa o pixel baseado no seu contexto, e não isoladamente, reconhecendo os grupos de pixels como objetos (JENSEN *et al.*, 1990; JANSSEN; van der WEL, 1994; BLASCHKE, 2010). A classificação consiste na coleta de amostras, de acordo com a hierarquia de classes, após a escolha das *samples* o algoritmo classifica as demais regiões com valores de intensidade parecidas.

3.3.3 Pós-processamento da imagem RapidEye

3.3.3.1 Avaliação da classificação Kappa

A avaliação da acurácia da classificação temática tornou-se um procedimento requerido no processo de análise dos dados oriundos de sistemas de sensores remotos. Atualmente, o método padrão para a avaliação da exatidão temática são realizados pelos índices derivados da

matriz de confusão, a qual fornece a base para descrever a exatidão da classificação e caracterizar os erros provenientes da classificação (FOODY, 2002; 2004).

A acurácia foi realizada pelo cálculo do Coeficiente Kappa (Equação 1). O índice refere-se a uma técnica multivariada discreta usada na avaliação da exatidão temática, sendo o coeficiente Kappa uma medida do quanto a classificação está de acordo com os dados de referência. O uso do Coeficiente Kappa é considerado satisfatório na avaliação da precisão de uma classificação temática, uma vez que leva em consideração toda a matriz de confusão em seu cálculo (COLGALTON, 1991).

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c (x_{i+} x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^c (x_{i+} x_{+i})} \quad (1)$$

Onde K é uma estimativa do coeficiente Kappa; x_{ii} é o valor na linha i e coluna i; x_{i+} é a soma da linha i e x_{+i} é a soma da coluna i da matriz de confusão; n é o número total de amostras e c o número total de classes. Os níveis de desempenho da classificação de acordo com o índice Kappa, são: péssimo (<0), ruim ($0 < k \leq 0,2$), razoável ($0,2 < k \leq 0,4$), bom ($0,4 < k \leq 0,6$), muito bom ($0,6 < k \leq 0,8$) e excelente ($0,8 < k < 1,0$). Para o trabalho foram utilizados 335 pontos aplicados em 13 classes selecionadas de modo aleatório na imagem classificada automaticamente.

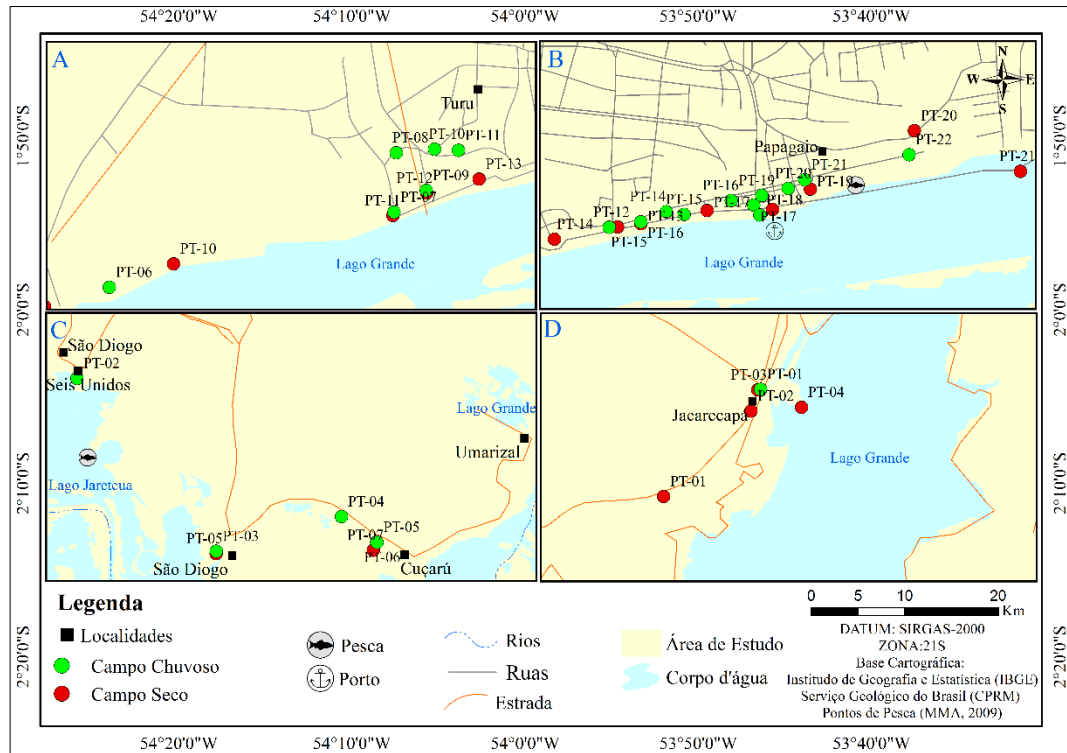
3.3.3.2 Trabalho de campo

O trabalho de campo consistiu no mapeamento do uso e ocupação do solo ao longo da área de estudo que abriga os ambientes fluviais. Em campo foi utilizado um GPS (Sistema de Posicionamento Global) modelo *Garmim Etrex 30x*, uma câmera digital, martelo estratigráfico, caderneta de campo e escalas granulométricas e lupa de 10x.

Para o caminhamento de campo foram marcados previamente os pontos a serem visitados, levando-se em consideração a precisão da classificação temática. Ao todo foram mapeados 44 pontos, dos quais 13 foram amostras. O campo foi realizado por carro, do tipo *pick-up* e por embarcação motor de pequeno porte.

A distinção dos ambientes sedimentares e verificação da acuraria da classificação da imagem foi determinada durante a visita de campo, concomitante com coleta de sedimentos, que ocorreram em dois períodos do ano (Figura 3.9): uma no final do período chuvoso (julho/2017) e outro no período seco (outubro/2017), com a finalidade de observar se a pluviosidade e a sazonalidade interfeririam no resultado.

Figura 3.9 - Mapa de campo com os pontos do final do período chuvoso(julho/2017) e período seco (outubro/2017). Em (A) e (B) estão localizados os pontos dentro da sede municipal de Monte Alegre. (C) estão os pontos nas comunidades de São Diogo, Seis Unidos e Cuçarú. (D) são os pontos coletados no município de Jacarecapá.

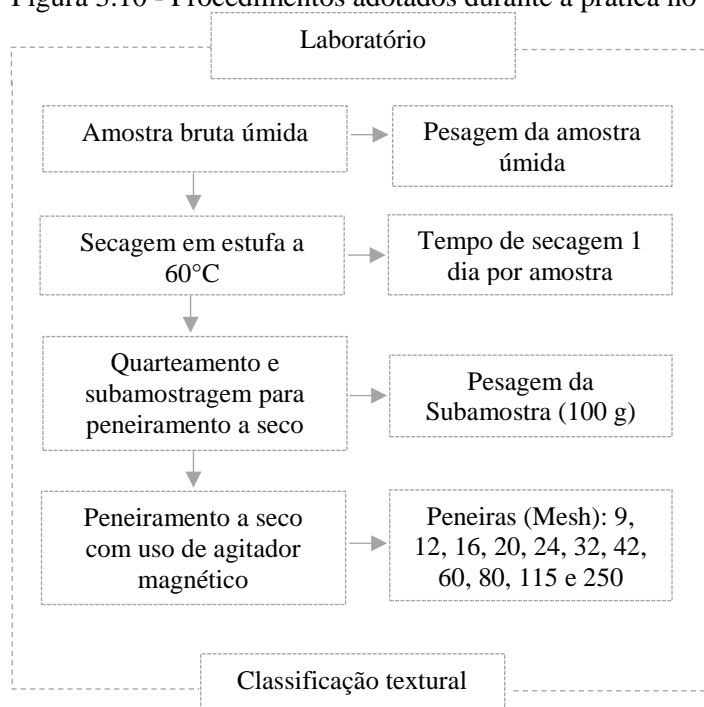


3.3.3.3 Granulometria

A metodologia escolhida para análise granulométrica foi o método do peneiramento, utilizando os parâmetros de tamanho de grão de acordo com Folk e Ward (1957); Folk, 1966; Folk (1974). As análises foram realizadas no Laboratório de Geologia Geral da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA), campus Tapajós, após as coletas dos campo chuvoso e campo seco (Figura 3.10).

Inicialmente as amostras úmidas foram pesadas e em seguida foram para a estufa a uma temperatura de 60 °C, por um período em média de 24 h. Após a secagem realizou-se nova pesagem, agora das amostras secas (BLOTT & PYE, 2012).

Figura 3.10 - Procedimentos adotados durante a prática no laboratório.



Fonte: O autor.

Em seguida efetuou-se o quarteamento das amostras, obedecendo a NBR-10007/ ABNT (2004). Na fase de quarteamento foram pesadas 100g para o peneiramento, visto que visualmente as amostras coletadas não apresentavam granulometria maiores que cascalhos e seixos (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Tabela Pesos das amostras úmidas e secas.

Campo estação chuvosa						
Amostras	Nome	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	Diferença (g)	Latitude	Longitude
1	PT-01	1596,73	1353,45	243,271	808702	9765751
2	PT-04a	1294,46	1183,33	111,13	804635	9768866
3	PT-04b	1191,58	973,17	218,41	804654	9769146
4	PT-06	1404,18	1126,68	277,5	792279	9757076
5	PT-07	1579,16	1315,33	263,83	824450	9777249
6	PT-08	1209,04	1103,93	105,74	823652	9777513
7	PT-12	1026,62	1438,72	113,32	824685	9777474
8	PT-13	1588,17	1153,90	300,97	825363	9777503
9	PT-14	1153,44	913,30	1038,33	829605	9778364
10	PT-19a	1692,46	1287,20	277,5	823404	9776977
11	PT-19b	1389,80	115,11	235,9	823404	9776977
Campo estação seca						
Amostra	Nome	Peso úmido (g)	Peso seco (g)	Diferença (g)	Latitude	Longitude
1	PT-20	-	1422,33	1422,33	829516	9778.325
2	PT-22	-	1965,24	1965,24	826814	9777710

Fonte: O autor.

A série de peneiras escolhidas foram realizadas de acordo com a disponibilidade do laboratório. A série contava com 11 peneiras da marca Bertel, com malhas de 2.00 mm, 1.4mm,

1.00 mm, 850 μ m, 710 μ m, 500 μ m, 355 μ m, 250 μ m, 180 μ m, 125 μ m e 63 μ m (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Abertura de peneira utilizadas e suas correlações.

Mesh	Milímetros (mm)	Micrometros (μ m)	Phi (ϕ)	Tamanho Udden-Wentworth
9	16	2.00	-4	Cascalho muito grosso
12	8	1.40	-3	Cascalho grosso
16	4	1.00	-2	Cascalho médio
20	2	850	-1	Cascalho fino
24	1	710	0	Areia muito grossa
32	(1/2) 0,5	500	1.0	Areia grossa
42		355		
60	(1/4) 0,25	250	2.0	Areia média
80		180		
115	(1/8) 0,125	125	3.0	Areia fina
250	(1/16) 0,0625	63	4.0	Areia muito fina
		<63		Silte e argila

Fonte: O autor.

A série de peneiras foi agitada por um aparelho vibratório, chamado agitador magnético. Este equipamento realiza no conjunto de peneiras movimentos de alta frequência que viabilizam o peneiramento das partículas. Em geral, os agitadores realizam simultaneamente movimentos verticais e horizontais (Figura 3.11). O tempo de peneiramento é função do peso da amostra, para o peso de 100 g utilizou-se o tempo de 15 minutos. Após a peneiramento foram pesadas cuidadosamente o material retido em cada uma das 11 peneiras, em uma balança de precisão, durante a pesagem cada fração contida nas peneiras foram armazenadas em saco plásticos. Este procedimento foi realizado para todas as amostras individualmente. Entre cada amostra peneirada a série de peneiras foram lavadas e secas em estufa, com a finalidade de retirar das malhas quaisquer partículas que possam estar presas e que poderiam ir contaminar a nova amostra a analisar.

Figura 3.11 - (A) balança de precisão. (B) estufa para a secagem das mostras. (C) conjunto de peneiras usadas da marca Bertel. (D) agitador magnético da marca Bertel.



Fonte: O autor.

3.3.3.4 Construção do mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal

O mapa foi construído seguindo as recomendações do IBGE (2013), para mapas de uso da terra e a metodologia de Araújo *et al.* (2006) de feições fluviais características do ambiente amazônico.

As classes foram determinadas em campo, utilizando como método as características dos ambientes mapeados. As 13 classes foram divididas em dois grupos: uso da terra e feições fluviais. As 6 classes de uso da terra e sua abrangência são: pastagem, corpo d'água costeiro, florestal, áreas urbanizadas, campestre e uso não identificado.

As 6 classes de feições fluviais (ARAÚJO *et al.*, 2006) são: floresta alagável/ densa, praias de margens, banco de macrófitas herbáceas ou de gramíneas, barras ou bancos fluviais, chavascal e margens de rio e ilhas. A classe nuvem foi agrupada em outros

3.3.3.4.1 Classes de uso da terra

Pastagem – são as áreas destinadas ao pastoreio do gado, formada mediante plantio de forragens perenes ou aproveitamento e melhoria de pastagens naturais (IBGE, 2013).

Corpo d'água costeiro - referem-se aos corpos d'água naturais e artificiais que não são de origem marinha, tais como: rios, canais, lagos e lagoas de água doce, represas, açudes, etc. (IBGE, 2013).

Florestal – são formações arbóreas com porte superior a 5 m, incluindo as fisionomias da Floresta Densa, da Floresta Aberta, da Floresta Estacional, além da Floresta Ombrófila Mista e das áreas de mangues (IBGE, 2013).

Áreas urbanizadas – são as áreas correspondentes às cidades (sedes municipais), às vilas (sedes distritais) e às áreas urbanas isoladas. Compreendem áreas de uso intensivo, estruturadas

por edificações e sistema viário, onde predominam as superfícies artificiais não agrícolas (IBGE, 2013).

Campestre – são as áreas campestres com diferentes categorias de vegetação fisionomicamente bem diversa da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso (IBGE, 2013).

Uso não identificado – são áreas que algumas vezes os trabalhos de campo não são suficientes para cobrir todas as áreas ou dúvidas predefinidas antes do campo (IBGE, 2013).

3.3.3.4.2 Classes de feições fluviais

Floresta alagável/ densa – ocorrem em áreas que ficam por longo período de tempo alagada e a floresta de terra firme é dominada por grossas em terrenos mais altos, sem a interferência de inundação (BARBOSA; CAMPOS, 2011).

Praias de margens – Feições encontradas no canal. Reconhecidas como depósitos de barras em pontal (ARAÚJO *et al.* 2006).

Banco de macrófitas herbáceas ou de gramíneas – Feições encontradas em planícies fluviais, exposta em função do período, funcionando como filtro (ARAÚJO *et al.* 2006).

Barras ou bancos fluviais – Feições encontradas no canal, regionalmente tem o sentido de bancos de areia, mas são praias formadas no meio do rio, isoladas da margem (BRIERLEY; FRYIRS, 2005)

Chavascal – macega cerrada composta de espinheira e plantas silvestres em tal densidade que se torna quase intransponível, sendo comumente encontrada ao longo de fundos de vales (BOUBLI, 2002) e são feições encontradas em planícies fluviais.

Margens de rio e ilhas – são feições encontradas no canal, onde as margens e o leito fluvial são constituídos de sedimentos areno-argilosos pouco consolidados, o que propicia um potencial acentuado de dinâmica de alteração de suas margens e de seu fundo (ARAÚJO *et al.* 2006)

3.3.3.5 Construção do mapa de índice de sensibilidade fluvial

Após o levantamento dos dados em campo e da confecção do mapa de ambientes foram classificados os segmentos em conformidade com os índices de sensibilidade ambiental ao óleo em ambiente fluvial elaborada por Araújo *et al.* (2006). Os autores propõem uma metodologia para sistemas de classificação das margens dos ambientes fluviais quanto à sensibilidade a

possíveis derramamentos de óleo, denominado Índice de Sensibilidade ao Óleo em ambiente fluvial (ISF).

O ISF foi construído a partir de uma adaptação do índice de sensibilidade ao óleo para o litoral (ISL), baseando-se também nas características geomorfológicas, porém das feições fluviais e não do litoral. O ISF, da mesma forma que o ISL, varia de 1 a 10, sendo o índice 1 referente a ambiente com baixa sensibilidade e o 10 com alta sensibilidade (NOAA, 2002).

A construção do mapa com os índices de sensibilidade fluvial, proposto neste trabalho, foi feito com um padrão de cores, as quais, foram identificadas pelos índices (Quadro 2.5), os quais estão associados a uma feição (Quadro 2.4). O padrão de cores, os índices e as feições foram propostas por Araújo *et al.* (2006) e, escolhidos como metodologia por refletirem as características da área de estudo.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Mapa de uso do solo e cobertura vegetal

A Figura 4.1 é uma chave de interpretação que associada as classes feições fluviais e uso da terra com os seus correspondentes na imagem utilizada para a classificação. A partir do processamento da imagem e trabalho de campo foi possível gerar o mapa da Figura 4.2 e os resultados percentuais das áreas de cada classe (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - As classes foram determinadas em campo, utilizando como método as características dos ambientes mapeados. As 13 classes são divididas em 3 grupos: feições fluviais, uso da terra e outros.

Classes	Área (km ²)	Porcentagem	Tipo de Classe
Floresta alagável/ densa	227,96	30%	Feições fluviais
Chavascal	15,17	2%	Feições fluviais
Campestre	26,27	3%	Uso da terra
Margens de rio e ilhas	1,94	1%	Feições fluviais
Uso não identificado	8,58	2%	Uso da terra
Corpo d'água	89,84	12%	Feições fluviais
Áreas Urbanizadas	27,76	4%	Uso da terra
Florestal	55,31	7%	Uso da terra
Praias de margens	25,13	3%	Feições fluviais
Banco de macrófitas herbáceas ou de gramíneas	73,93	10%	Feições fluviais
Nuvem	29,53	4%	Outros
Barras ou bancos fluviais	11,61	2%	Feições fluviais
Pastagem	161,54	20%	Uso da terra
Total	754,55	100%	

Fonte: O autor.

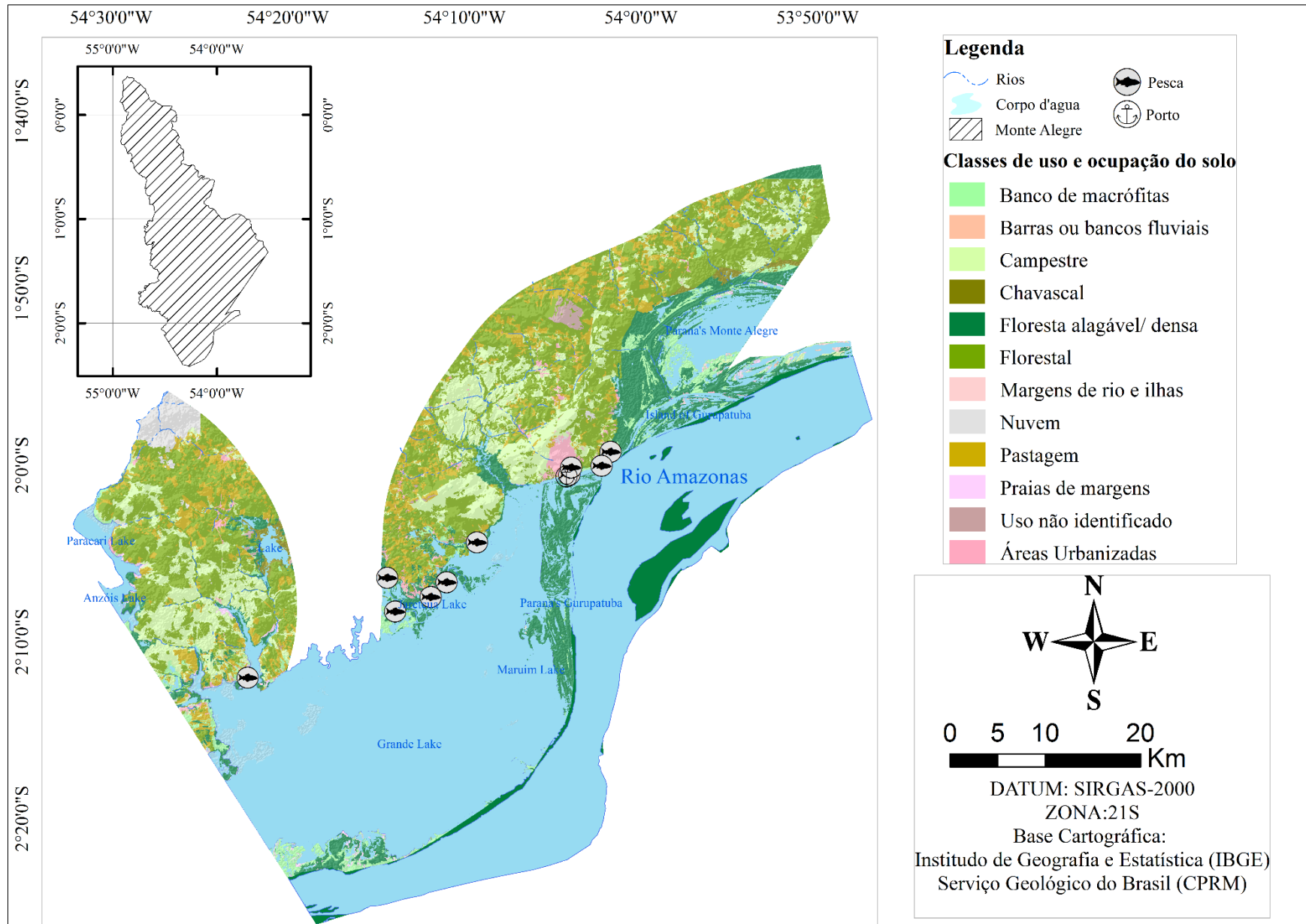
A classe floresta alagável/ densa representa a maior área classificada com 30%, seguida da segunda classe mais expressiva pastagem, com 20%. A classe corpo d'água, com 12% e banco de macrófitas herbáceas ou de gramíneas, com 10%, as quatro classes mais expressivas somam 72% da área de estudo.

Figura 4.1 – As 13 classes foram divididas em 3 grupos: feições fluviais, uso da terra e outros. Estão representadas as feições classificadas e sua correspondente na imagem real.

Classes			Tipo de Classe
1		Banco de macrófitas	Feições Fluviais
2		Barras ou bancos fluviais	Feições Fluviais
3		Campestre	Uso da Terra
4		Chavascal	Feições Fluviais
5		Corpo d'água costeiro	Uso da Terra
6		Floresta alagável/ densa	Feições Fluviais
7		Florestal	Uso da Terra
8		Margens de rio e ilhas	Feições Fluviais
9		Nuvem	Outros
10		Pastagem	Uso da Terra
11		Praias de margens	Feições Fluviais
12		Uso não identificado	Uso da Terra
13		Áreas Urbanizadas	Uso da Terra

Fonte: O autor.

Figura 4.2 - Mapa com as classes de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal da área de trabalho.



Para avaliação da acurácia da classificação, foram selecionados pontos de teste para a geração da matriz de erro ou de confusão. A seleção dos pontos foi realizada a partir da amostragem aleatória simples (STEHMAN, 2009; CONGALTON; GREEN, 2009). Os resultados foram avaliados aplicando o índice Kappa (LANDIS; KOCH, 1977) tendo como dados de referência os pontos coletados. Para elaboração da matriz de confusão e cálculo do Kappa considerou-se todas as 13 classes contidas no mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, totalizando 335 pontos (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Índice Kappa gerado a partir da classificação baseada ao objeto. A=Floresta alagável/ densa, B=Chavascal, C=Campestre, D=Margens de rio e ilhas, E=Uso não identificado, F=Corpo d'água, G=Áreas Urbanizadas, H=Florestal, I=Praias de margens, J=Banco de macrófitas herbáceas ou de gramíneas, K=Nuvem, L=Barras ou bancos fluviais, M=Pastagem.

Matriz confusão														
Classes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	Total
A	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
B	2	20	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	26
C	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
D	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
E	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	15
F	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	39
G	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	0	0	0	40
H	0	0	0	0	0	1	0	45	0	0	0	0	0	46
I	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	17
J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	0	0	0	19
K	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	49
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	45
Total	20	20	40	10	15	40	40	45	20	20	10	10	45	335
Acurácia%														
Comissão	0	92,3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Omissão	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Produtor	90	100	2,5	100	100	97,5	100	100	85	95	100	100	100	
Usuário	100	76,9	100	100	100	100	100	97,8	100	100	20,4	100	100	
Precisão Global = 0,86														
Kappa = 0,85														

Fonte: O autor.

O mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal foi obtido por meio da classificação supervisionada, assim, para a validação da classificação foram coletadas 335 amostras de um total de 13 classes.

A matriz de erro para validação da classificação das classes apresentou índice de precisão global de 0,86 e Índice Kappa geral de 0,85, sendo considerado excelentes.

Os erros de comissão, alusivos aos pixels que não se incluem em uma determinada categoria, logo são pertencentes a outra, demonstrou que a classe floresta alagável/densa alcançou 0% e a classe chavascal 92,3%, enquanto que as outras classes assumiram valores de 100%. Os erros de omissão, referente ao número de amostras que, pertencendo a uma determinada categoria, não foram incluídos nela, demonstrou que as todas as classes alcançaram 0%, enquanto que a classe floresta alagável/ densa obteve 10%. Desta forma, os valores encontrados para os erros de omissão se referiram a uma definição imperfeita da categoria, enquanto que os erros de comissão mencionaram uma delimitação excessiva das classes.

A acurácia da classificação permitiu que o mapa com os índices de sensibilidade fluvial fosse criado, possibilitando a distribuição espacial dos índices na área de estudo.

4.2 Granulometria

A curva granulométrica da área mapeada apresenta uma uniformidade no tamanho dos grãos (Tabela 4.3) com base na classificação de Udden (1914), Wentworth (1922).

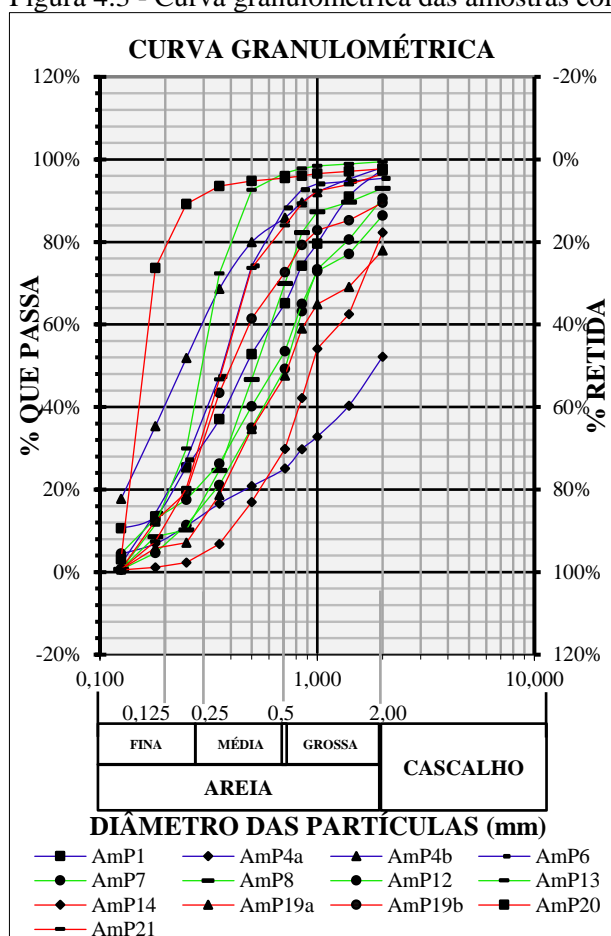
Foram realizados todos os procedimentos e com os valores das massas de cada peneira, para todas as amostras, foi possível realizar os cálculos para a construção das curvas granulométricas. Para a construção da curva são necessárias as variáveis: massa (g), retido simples (%), retido acumulado (%) e passante (%) (Figura 4.2).

Tabela 4.3 - Massa em gramas (g) das amostras, contidas nas peneiras para os dois campos.

Tm.	Campo Chuvoso											Campo Seco	
	P1	P4a	P4b	P6	P7	P8	P12	P13	P14	P19a	P19b	P20	P22
CmG	2,36	47,98	1,99	4,12	3,91	3,25	7,67	0	6,3	14	6,82	1,58	1,62
CG	6,64	11,85	2,83	0,53	5,63	3,73	6,07	0,53	11,57	8,17	3,74	0,72	1,94
CM	11,4	7,57	3,19	0,71	10,05	3,35	9,4	0,53	19,99	8,84	4,34	0,65	2,61
CF	5,39	3,03	2,51	0,6	7,33	2,35	4,18	0,52	8,42	4,27	2,41	0,53	1,52
AMG	9,1	4,69	3,78	1,38	10,21	5,06	8,04	0,61	12,06	5,85	3,58	0,57	3,09
AG	12,33	4,3	5,96	4,53	14,13	12,34	11,57	1,05	12,47	11,51	6,61	0,54	5,38
S/C	15,74	4,25	11,39	14,09	14,4	23,25	13,45	4,19	12,97	12,98	11,32	0,65	10,43
AM	11,73	5,39	16,93	27,08	14,01	22,03	14,03	20,32	10,28	16,07	18,11	1,3	27,23
S/C	11,83	4,38	16,67	20,31	9,74	14,45	8,86	42,59	4,57	11,62	24,26	4,38	26,5
AF	2,88	2,46	17,8	13,1	6,82	1,66	4,56	18,51	1,2	1,34	7,02	15,61	13,13
AMF	9,27	3,61	16,11	12,41	4,1	7,85	8,54	10,83	0,6	5,15	11,72	71,04	6,83
SeA	1,35	0,81	1,78	1,96	0,61	0,72	4,56	0,67	0,53	0,65	0,75	3,14	0,64

Fonte: O autor

Figura 4.3 - Curva granulométrica das amostras coletadas.



Fonte: O autor.

O tipo de substrato e a permeabilidade estão diretamente relacionados e também são parâmetros considerados importantes, pois o substrato determina a permeabilidade que está associada à granulometria e à mobilidade do sedimento e, conseqüentemente, à permanência do óleo no ambiente. O conhecimento sobre o tipo de substrato também auxilia na determinação do tipo de equipamento que poderá ser utilizado em ações de limpeza (WIECZOREK *et al.* 20007).

Substratos de sedimentos grossos apresentam grãos mal selecionados, o que permite a percolação do óleo por mais de um metro. Em sedimentos de granulometria mista, como areia e cascalho, a percolação do óleo pode ser menor que 50 cm. A diferenciação quanto ao diâmetro dos grãos (fino, médio e grosso) influencia na percolação do óleo. Sedimentos mais finos como as argilas são menos permeáveis, pois apresentam granulometria menor, o que dificulta a percolação do óleo, e são comumente saturados por água (WIECZOREK *et al.* 20007).

4.3 Mapa de Índice de Sensibilidade Fluvial

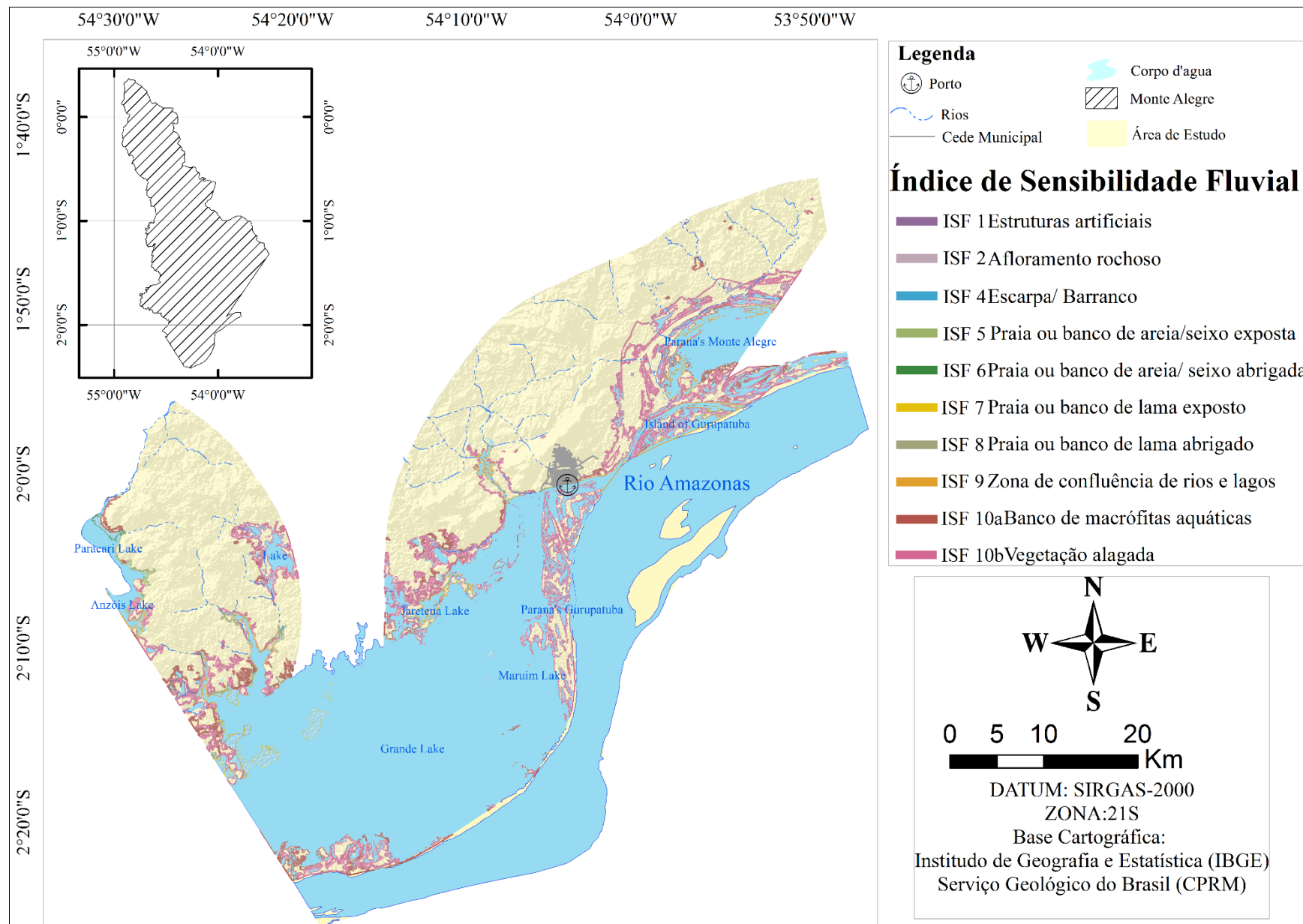
O mapa com os índices de sensibilidade fluvial (Figura 4.3) e a análise da granulometria evidenciam a predominância de areia média a fina nas regiões mapeadas durante as campanhas de cheia e seca ao longo das zonas de influência do Lago Grande. Ocorre a predominância de areia média a fina, em ambos os períodos.

Dentro da cidade os pontos mapeados foram classificados como estruturas artificiais (ISF 1), laje ou afloramento rochoso (ISF 2), escarpa/ barranco (ISF 4), praia ou banco de areia/seixo exposta (ISF 5), praia ou banco de lama exposta (ISF 7), zona de confluência de rios e lagos (ISF 9) e vegetação alagáveis – igapós, várzea, chavascal, campo (ISF 10b), que caracterizam as praias abrigadas e expostas, com areia média a muito fina, para o as praia ou banco de areia/ seixo exposta (ISF 5) e praia ou banco de lama exposta (ISF 7), respectivamente. As vegetações alagáveis encontram-se no interior do sistema do Lago Grande e foram classificadas com ISF 10b, em confluência com rios e lagos (ISF 9). As estruturas artificiais são principalmente barreira de contenção para os períodos chuvosos feitas de concreto, as quais foram classificadas com ISF 1. Os afloramentos rochosos mapeados são formados por paredes de arenito e foram classificados com ISF 2. Os pontos classificados com ISF 4 são representados por barrancos de granulometria média a grossa e, às vezes, com presença de deslizamentos.

Assim, as regiões que possuem praias abrigadas são mais sensíveis que as áreas expostas sujeitas à ação do movimento de descida e subida da água. Essa diferença de sensibilidade entre os dois ambientes pode ser importante no caso de um acidente de derramamento de óleo e deve ser considerada pelo gestor no planejamento das ações de resposta. Já que o tipo do substrato determina a permeabilidade e mobilidade do sedimento, características estas que formam a estrutura básica que define os tipos de comunidades biológicas que podem existir em determinado local (MMA, 2007). Substratos permeáveis tendem a um maior tempo de permanência já que penetração do óleo é maior. A mobilidade do sedimento pode diminuir a permanência do óleo ou, ao contrário, incorporá-lo aos estratos sedimentares inferiores.

A vegetação alagável (igapó, várzea, chavascal, campo etc.) e bancos de macrófitas foram classificados com ISF 10a e ISF 10b, respectivamente sendo considerados os ambientes mais sensíveis na região estudada, os quais ocorrem principalmente nas comunidades de São Diogo e arredores. Os ambientes com vegetações alagáveis (ISF 10b) contam com a presença de praias de lama abrigada classificada com ISF 8, como em Jacarecapá.

Figura 4.4 - Mapa com os Índices de Sensibilidade Fluvial da área de estudo.



As praias de seixo abrigada foram classificadas com ISF 6 comuns nas porções extremo oeste do município, Lago dos Anzóis. Segundo Scipioni *et al.* (2013), as florestas alagadas, favorecem um microclima para o desenvolvimento da fauna e flora de estágios mais avançados, conservação de solos e a manutenção de todo o ecossistema florestal, essa função é ainda mais relevante, devido aos inúmeros processos ecológicos que ocorrem nesses ambientes.

Além disto, as florestas marginais protegem da erosão e filtram os sedimentos e os produtos químicos utilizados nas lavouras (ARAÚJO *et al.*, 2004). O óleo nestes ambientes pode penetrar no sedimento e nas raízes e troncos da vegetação. O substrato normalmente possui baixa declividade, potencializando um amplo alcance do óleo. Nas regiões com sedimento saturado em água a permeabilidade é muito baixa. Os procedimentos de limpeza são danosos e intrusivos, pois facilitam o soterramento do óleo para camadas mais profundas, (NOAA, 2004) a vegetação arbórea coberta por óleo não deve ser cortada.

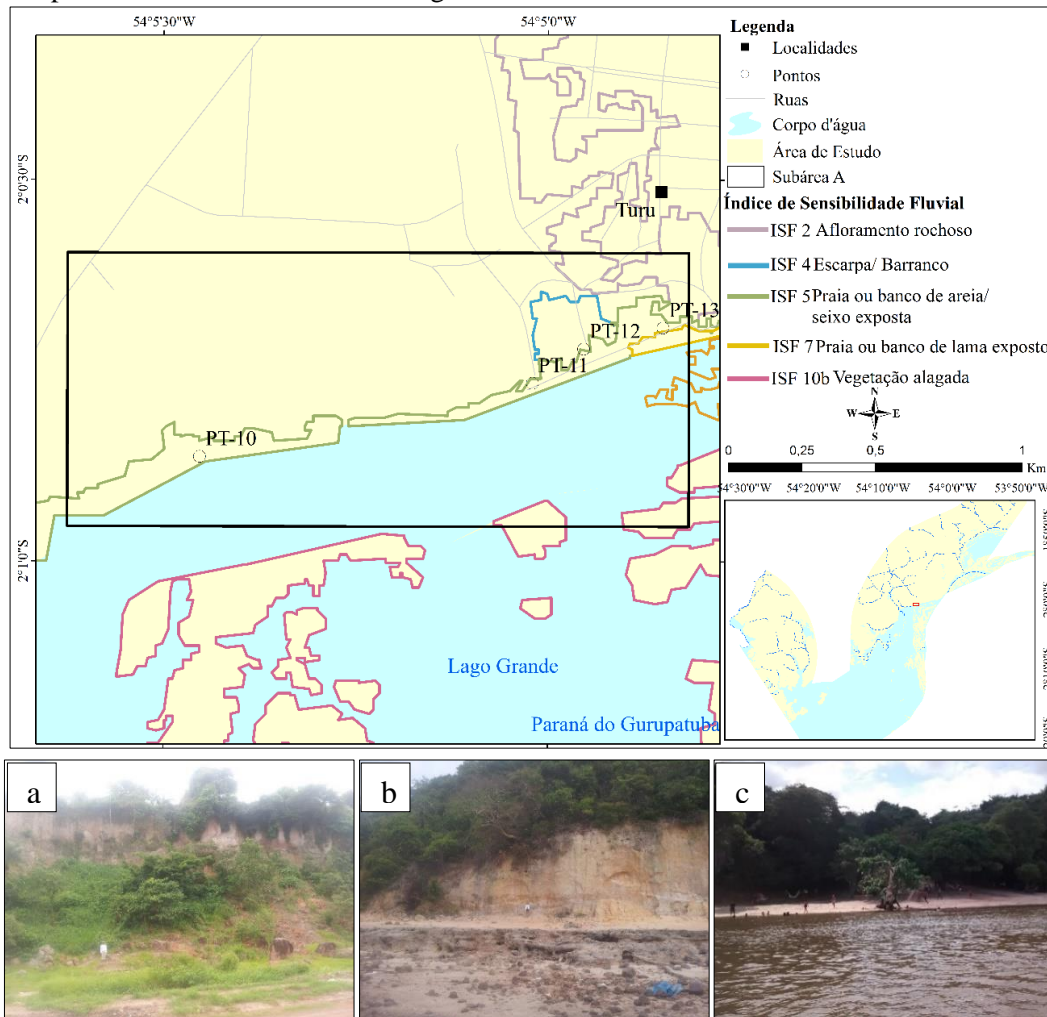
Pode-se observar, desta forma, que as praias mapeadas não apresentaram mudanças significativas a respeito da sensibilidade durante os períodos de cheia e de seca, entretanto, as áreas afetadas, em caso de acidente por óleo, são maiores, uma vez que, essas distâncias podem ser superiores a 100m entre o período chuvoso e seco, como em Jacarecapá e São Diogo. Pois, o nível do rio também influencia na sensibilidade do ambiente ao óleo, em níveis mais altos o óleo alcançará maiores áreas, dificultando a contenção e limpeza.

Como regra, em alto nível do rio a sensibilidade aumenta já que as praias, muros e demais margens podem estar submersas e o óleo chegar direto na vegetação. O fluxo do rio também é um fator importante porque atua sobre a dinâmica da mancha de óleo. Se o fluxo for grande, espalhará a mancha a jusante espalhando a contaminação, se a energia for pequena, o óleo ficará mais tempo impactando o mesmo local. A hidrodinâmica do ambiente fluvial também afeta a capacidade de autolimpeza e a persistência do óleo no ambiente. Na resposta à emergência, baixos fluxos auxiliam a contenção e retirada do óleo do ambiente (GURNELL *et al.*, 2012).

A seguir serão descritas em escala de detalhes das quatro subáreas, com registros fotográficos e descrições detalhadas das evidências encontradas na área de trabalho e, imagens com as principais características de alguns dos índices, uma descrição do comportamento do óleo nos ambientes e imagens feitas durante a campanha de campo.

A subárea A (Figura 4.4) está localizada dentro da cidade de Monte Alegre, apresenta índices de sensibilidade altos nas proximidades do paraná do Gurupatuba, ilha possui um substrato com característica de Neossolo Flúvico e vegetação alagáveis, cujo o ISF é 10b e, entre o paraná e o centro da orla da cidade a fauna local está muito presente, classificado com praia ou banco de areia/ seixo exposta (ISF5) e praia ou banco de lama exposta (ISF7). As lajes ou afloramentos rochosos (ISF 2) também é reconhecido na subárea (Figura 4.4a), este índice é caracterizado por margem com paredões rochosos e, portanto, região de difícil estagnação do óleo e de fácil limpeza. A partir deste ponto o ISF baixa para ISF 1 (estruturas artificiais), onde são encontradas as estruturas artificiais.

Figura 4.5 - Mapa de Índices Sensibilidade Fluviais da subárea A com os ISF 2, ISF 4, ISF 5, compreendendo a orla de Monte Alegre.



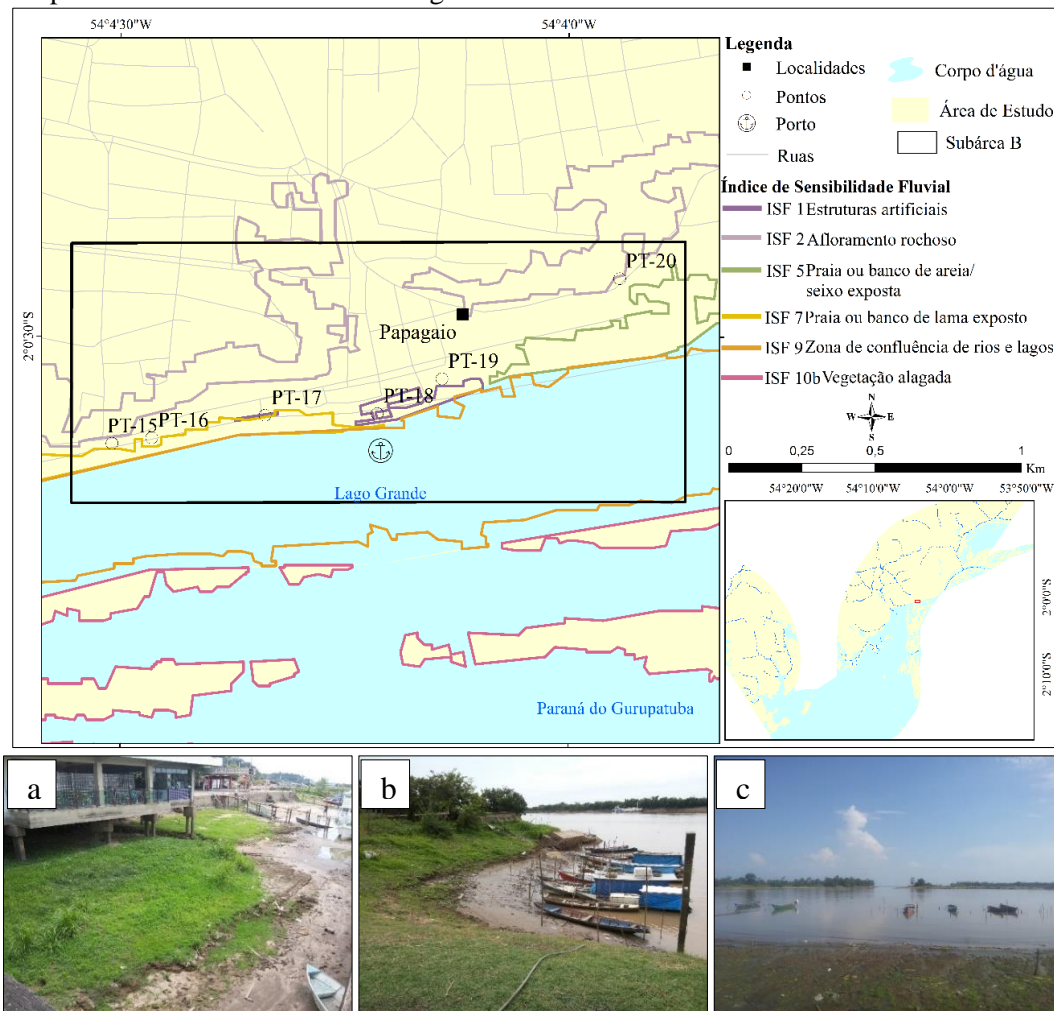
Fonte: O autor.

Na subárea A são comuns os mercados de peixe e a pesca predatória, bem como as habitações de palafita e a presença abundante de lixo, o que não impediu o reconhecimento de formação do ambiente. Na área de estudo existem algumas praias de extensão moderada que são utilizadas

para recreação. A largura destas praias é pequena podendo o ambiente ficar submerso em casos de alto nível do rio, neste cenário a classificação do ISF pode mudar. Assim, a presença das praias ou bancos de areia/ seixo exposta (ISF 5) (Figura 4.4b), praia ou banco de lama exposto (ISF 7) (Figura 4.4c) e vegetações alagáveis (ISF 10b) torna a área prioritária para contenção, de forma que o óleo não penetre no local, prejudicando a fauna e flora.

A subárea B (Figura 4.5) possui, em sua maior parte, as vegetações alagáveis (ISF 10b) e uma pequena área de praia ou banco de lama exposto (ISF 7) (Figura 4.5a) e praia ou banco de areia/seixo exposta (ISF 5), caracterizada como margem deposicional com areia (praias fluviais) e margem com vegetação de porte herbáceo, respectivamente, podendo ser um local de contenção do óleo.

Figura 4.6 - Mapa de Índices Sensibilidade Fluviais da subárea B com os ISF 1, ISF 7, ISF 9, compreendendo a orla de Monte Alegre.



Fonte: O autor.

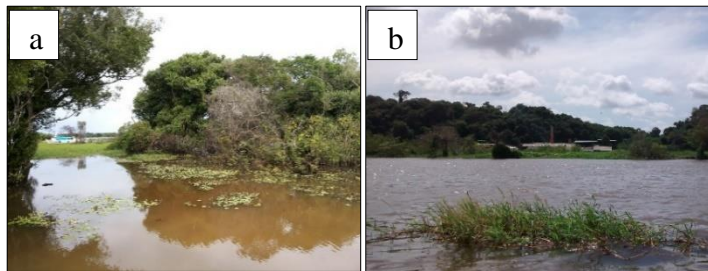
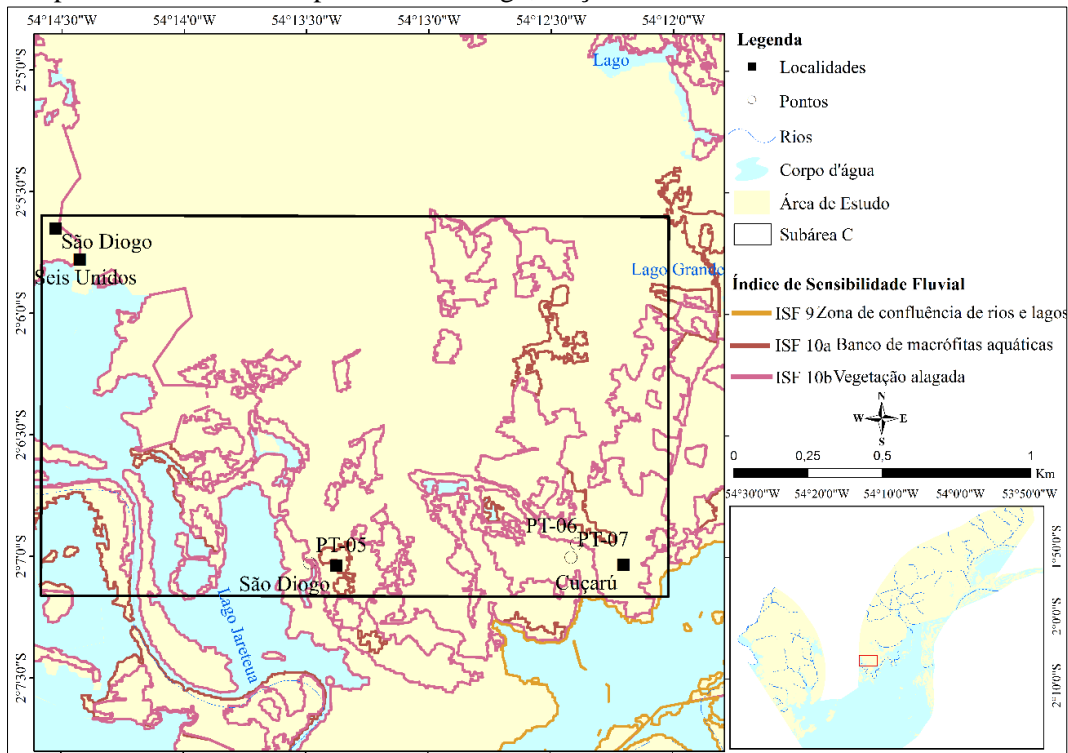
A orla de Monte Alegre, representadas pelas subáreas A e B, acomoda vários empreendimentos, incluindo o porto, o qual, interliga o município as cidades mais próximas e a capital do estado. O porto também transporta mercadorias, principalmente as provenientes da agricultura local, bem como a presença de balsa de combustível, classificado como estruturas artificiais (ISF 1) (Figura 4.5b), por conter estruturas artificiais. O Lago Grande está conectado ao Rio Amazonas, na margem esquerda, configurando a confluências de rios e lagos, classificados com ISF 9 (Figura 4.5c).

Nas subáreas A e B a ocupação desordenada das margens apresenta uma mistura de estruturas diferentes no qual o óleo pode percolar, como entulhos e resíduos domésticos. As margens junto destes fragmentos se encontram desprotegidas ou com proteções precárias, com ou sem vegetação.

Os bancos de macrófitas aquáticas (ISF 10a) e vegetações alagáveis (ISF 10b) são predominantes na subárea C, como uma consequência dos bancos vegetados, os quais, são depósitos de sedimentos em leitos de rio no qual começam a se fixar vegetações (Figura 4.6 a e b), aquáticas ou não, gerando pequenas ilhas que podem evoluir para ilhas maiores (CORENBLIT *et al.*, 2011). Contudo, são transitórios porque com mudanças na direção das águas ou após enchentes estes bancos podem desaparecer facilmente. Segundo NOAA (2002), a limpeza nesses ambientes é extremamente dificultada pela presença de vegetação e sedimento lamoso, além da taxa de remoção natural ser muito baixa e depender da frequência de inundação. O tipo da vegetação influencia em como o óleo vai penetrar nos sedimentos e também na dificuldade da contenção e remoção já que há diferentes espécies de plantas que cobrem as margens (THOMAZ; ROBERTO; BINI, 1997).

Além dos altos valores de ISF nesta subárea, ocorre também a captura de boa parte do pescado vendido nas feiras da cidade (MMA, 2009). As áreas encobertas por água no período chuvoso podem alcançar distâncias significativas nos períodos de seca, entre 50 m a 100 m. A presença do ISF 9 deve-se a confluência do maior rio do município, o rio Maecuru, com o Lago Grande.

Figura 4.7 - Mapa de Índices Sensibilidade Fluviais da subárea C com os ISF 10a e ISF 10b compreendendo os municípios de São Diogo, Cuçaru e Seis Unidos.



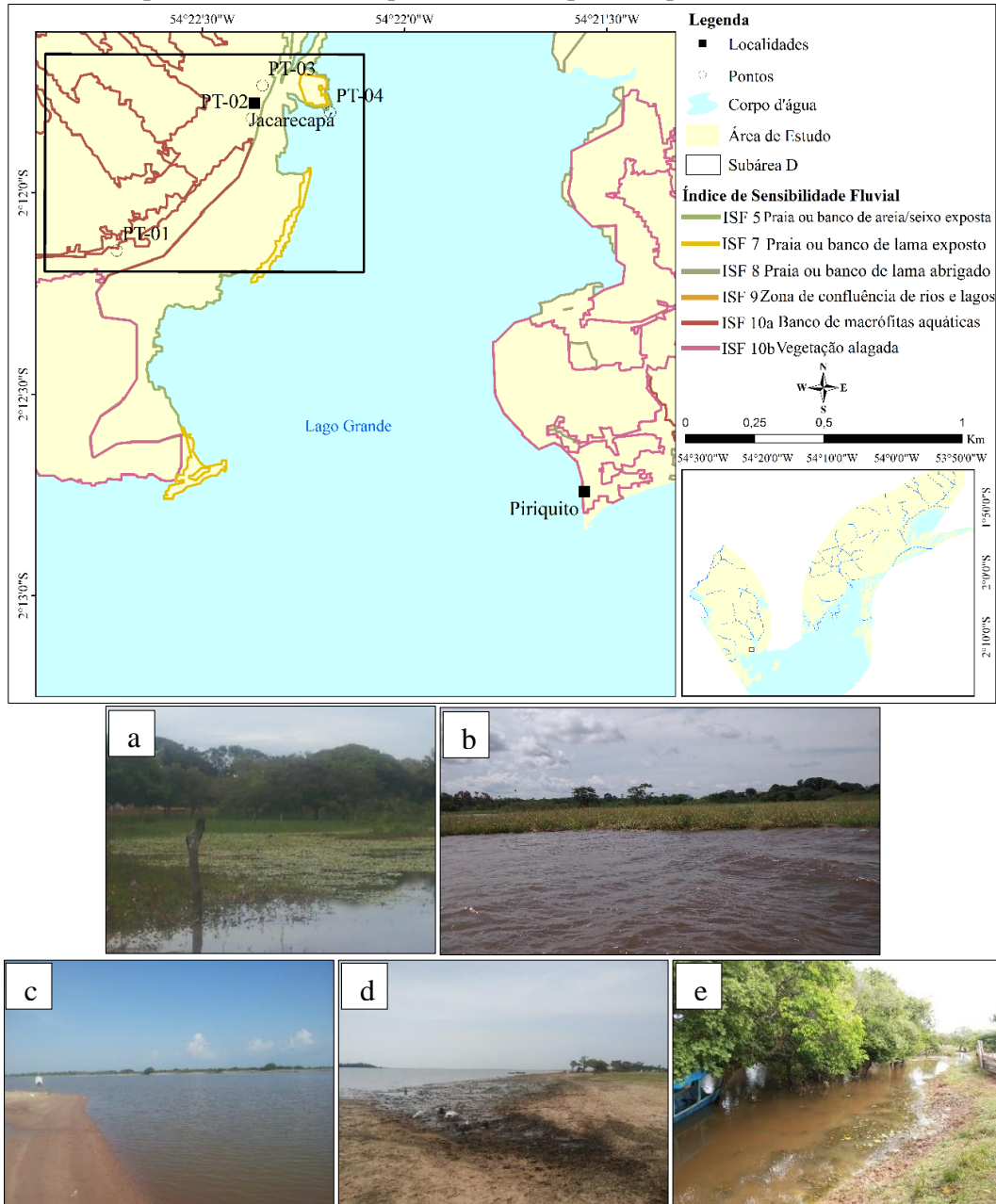
Fonte: O autor.

Na subárea D (Figura 4.7) há uma predominância dos bancos de macrófitas aquáticas (ISF 10a) (Figura 4.7b) e vegetações alagáveis (ISF 10b) (Figura 4.7a), bem como na subárea C. Uma vez que também é abundante as vegetações alagadas, típicas de várzea. Na subárea D, assim, como a A, existem algumas praias que são utilizadas para recreação, classificadas como praia ou banco de areia/seixo exposta (ISF 5) (Figura 4.7c). Entretanto, estas praias possuem largura maiores, que as da A, podendo alcançar mais de 100 m no período de seca, o ambiente ficar submerso, também, em casos de alto nível do rio, podendo modificar a classificação do ISF.

As praias de lama exposta, classificadas como praia ou banco de lama exposto (ISF 7) (Figura 4.7d), em Jacarecapá, são utilizadas para a criação e pastagem de animais. As praias ou bancos de lama abrigado (ISF 8) (Figura 4.7e) é característico de bancos de lamas com vegetação. Estas margens além da sensibilidade ambiental ao óleo também possuem uma

sensibilidade social elevada, uma vez que, esses ambientes de praias que são utilizadas para a recreação.

Figura 4.8 - Mapa de Índices Sensibilidade Fluviais da subárea D com os ISF 5, ISF 7, ISF 8, ISF 10a e ISF 10b compreendendo os municípios de Jacarecapá e Piriquito.



Fonte: O autor.

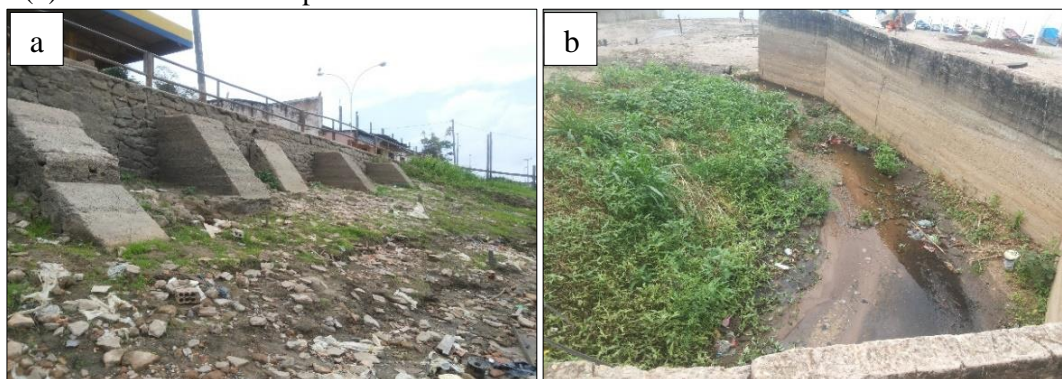
Assim, a presença das praias ou bancos de areia/seixo exposta (ISF 5), praia ou banco de lama exposta (ISF 7), praia ou banco de lama abrigado (ISF 8), Banco de macrófitas aquáticas (ISF 10a) e vegetações alagáveis (ISF 10b) tornar a área prioritária. Estas margens além da sensibilidade ambiental ao óleo também possuem uma sensibilidade social elevada.

4.3.1 Descrição e o comportamento do óleo nos ambientes

Neste tópico serão descritas as principais características de alguns dos índices, com imagens feitas durante a campanha de campo, uma descrição e o comportamento do óleo nos ambientes.

As estruturas artificiais (ISF 1) são muros feitos de estruturas sólidas, impermeáveis e artificiais (Figura 4.8a e b). São construídas de alvenaria, concreto e pedras. Estes ambientes são de baixa importância ecológica porque não apresentam comunidades vegetais fixadas, estas feições são encontradas ao longo da orla e hidroviária de Monte Alegre, no qual há presença de entulhos, lixo e esgoto lançados no rio. Quanto ao comportamento do óleo nesse tipo de feição o óleo adere às superfícies dos muros, no entanto, não ocorre a penetração do óleo nestas superfícies.

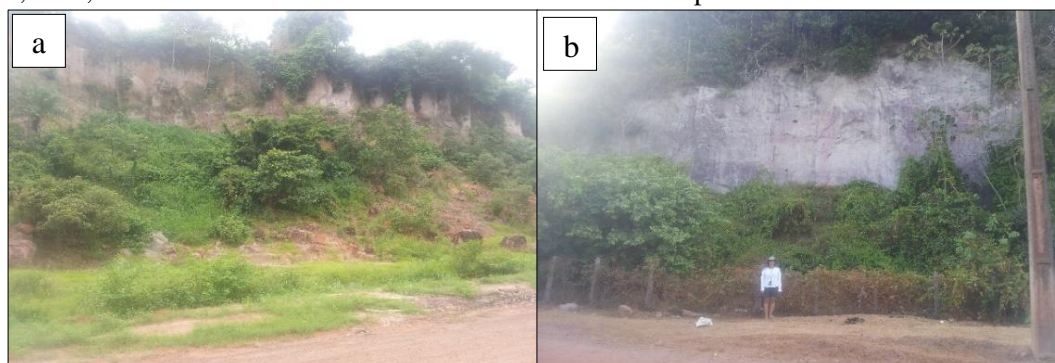
Figura 4.9 – Representa as estruturas artificiais (ISF 1), localizadas na orla da sede municipal.(a) e (b)muros de concreto e pedras.



Fonte: O autor

As lajes ou afloramentos rochosos (ISF 2) são afloramento constituído por areia média a fina e consolidada, com presença de lixo doméstico. Na Figura 4.9a o afloramento alcança uma altura de 10,62 m. Na Figura 4.9b são reconhecidas ravinas que ocorrem próximo a moradias e alcança uma altura de 8,48 m. Ainda próximo as residências são encontradas balsas a combustível que transportam animais para serem abatidos diariamente. Quanto ao comportamento do óleo nessas feições a ação das correntes retira eficientemente o óleo dos afloramentos com essas características.

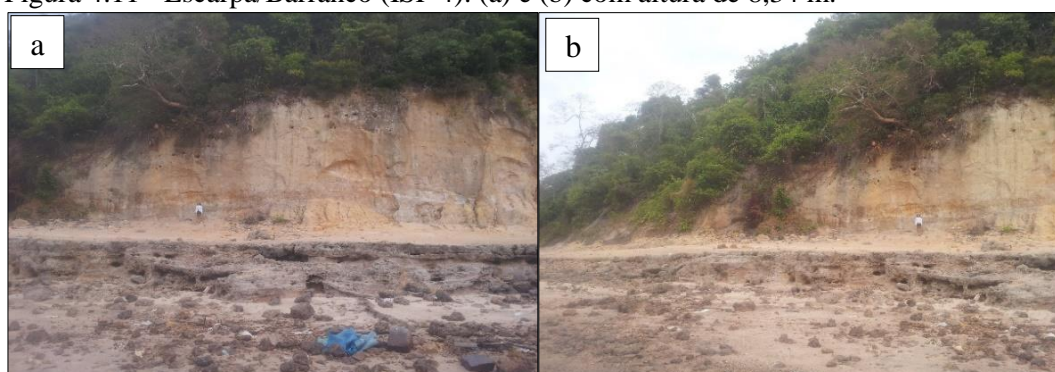
Figura 4.10 - Laje ou afloramento rochoso (ISF 2). (a) com altura de 10,62 e (b) com altura de 8,48 m, ambos os afloramentos localizados na sede municipal.



Fonte: O autor

As escarpas/barrancos (ISF 4) são formadas por sedimentos inconsolidados bem selecionados, geralmente areia, e apresentam uma declividade abrupta, com altura de 8,34 m (Figura 4.10). Presença de comunidades ao entorno com lixo doméstico e armadilhas para a pesca de camarão. Quanto ao comportamento do óleo nesses ambientes geralmente é menor que 10 cm, devido a compactação dos sedimentos, e os procedimentos de limpeza devem ser cuidadosos pelo potencial efeito erosivo nas margens.

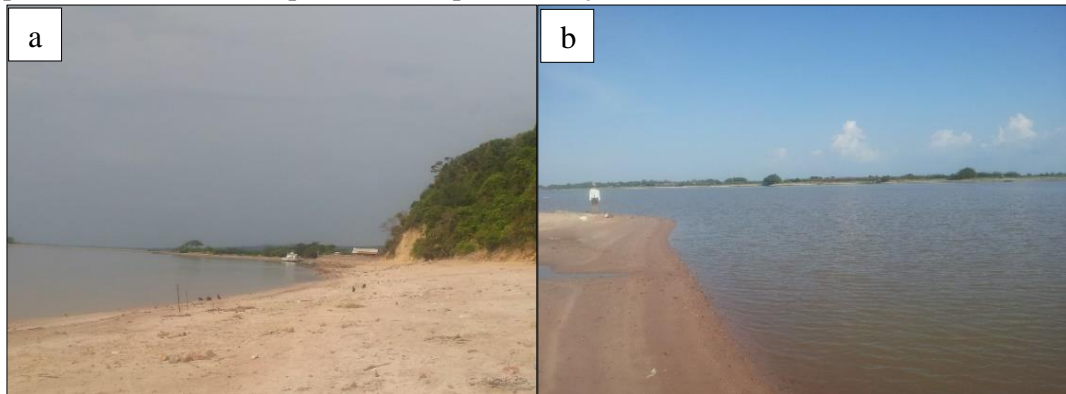
Figura 4.11 - Escarpa/Barranco (ISF 4). (a) e (b) com altura de 8,34 m.



Fonte: O autor

Praia ou banco de areia/ seixo exposta (ISF 5). Praias planas, com sedimento bem selecionado, com baixa declividade. Apresentam larguras variadas. Praias que são utilizadas para recreação. Ambiente reconhecido com mais frequência no período de seca. Comportamento do óleo. Máxima penetração do óleo entre 10 e 15 cm. Devido a pequena inclinação da face praial o alcance do óleo pode ser grande. Óleos leves se depositam na linha da água podendo alcançar maiores áreas se o nível estiver alto.

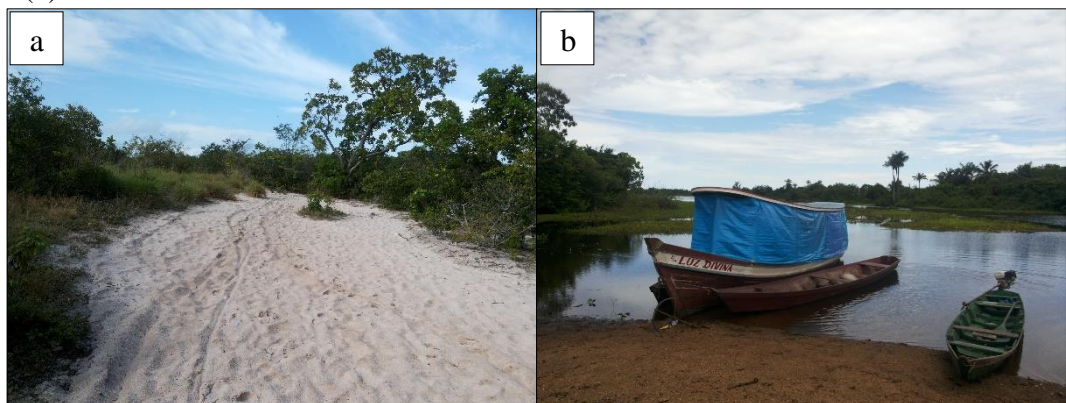
Figura 4.12 - Praia ou banco de areia/ seixo exposta (ISF 5). (a) e (b) estão localizadas nas proximidades do município utilizadas para recreação.



Fonte: O autor

As praias ou bancos de areia/seixo abrigada (ISF 6) são praias com declividade moderada e sedimentos mal selecionados. Em alguns momentos apresenta vegetações na região praial, onde ocorre mobilidade do sedimento pelas correntes do rio, e são característicos de regiões fluviais com fluxo de rio mais intenso a moderado. Esses ambientes são utilizados para recreação no período de seca (Figura 4.12a e b). Quanto ao comportamento do óleo nesses ambientes o óleo pode penetrar até cerca de 25 cm e a mobilidade do sedimento tende ao soterramento. A limpeza mecânica dificultada pela mobilidade do sedimento e potencial de enterramento do contaminante.

Figura 4.13 - Praia ou banco de areia/seixo abrigada (ISF 6). (a) localizada na sede do município e (b) localizada na comunidade de Seis Unidos.

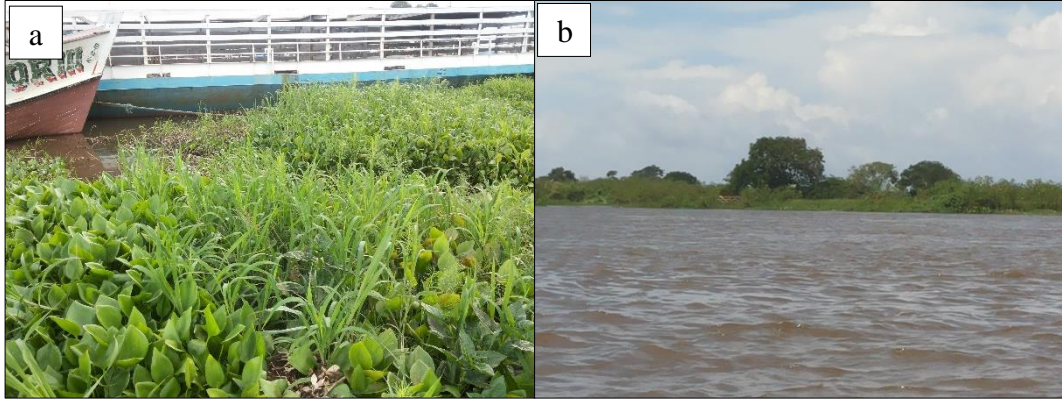


Fonte: O autor

Os bancos de macrófitas aquáticas (ISF 10a) são ambientes planos, substrato de areia lamosa formados por depósitos sedimentares no qual a vegetação se fixa e desenvolve (Figura 4.13a e b). Essas feições são transitórias e podem evoluir para formação de ilhas fluviais, as quais, em nível de alto do rio pode ser totalmente submerso. São ambientes importantes para alimentação e reprodução da fauna local. Quanto ao comportamento do óleo nesses ambientes a penetração é muito baixa já que o ambiente é saturado em água, entretanto, pode ter um amplo alcance

devido ao recobrimento da vegetação pela baixa declividade do ambiente, mas se o nível estiver baixo o impacto será somente nas bordas do banco.

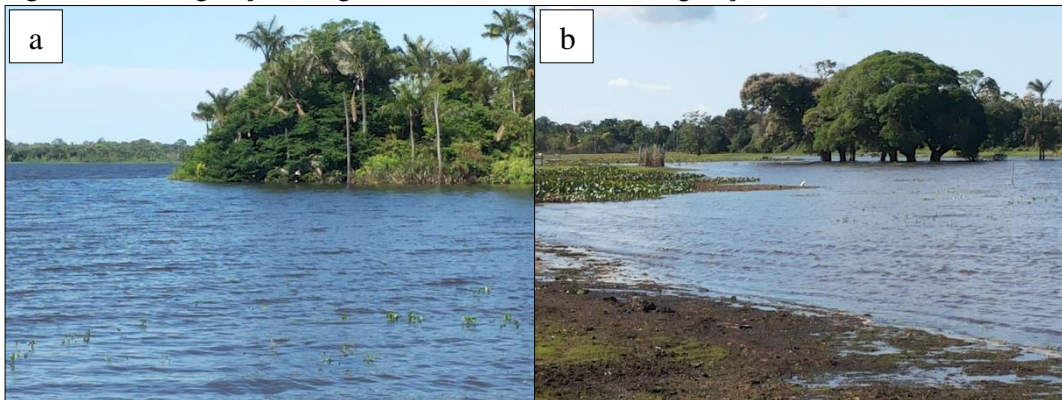
Figura 4.14 - Banco de macrófitas aquáticas (ISF 10a). (a) vegetação localizada na hidroviária de Monte Alegre, (b) vegetação próximo ao bairro Pajuçara.



Fonte: O autor

As vegetações alagáveis (ISF 10b) são florestas aluvias apresentam vegetação lenhosa, sazonalmente inundadas de médio e grande porte, com altura média de 6 m com substrato formado por detritos de origem aluvial, normalmente lamoso, ambiente com grande importância ecológica por permitirem desenvolvimento de fauna e flora em estágios mais avançados (Figura 4.14a e b). Quanto ao comportamento do óleo nesses ambientes pode penetrar no sedimento, raízes e troncos da vegetação se o nível do rio estiver alto. Nas regiões que o solo estiver saturado em água a penetração é muito baixa a vegetação lenhosa é menos sensível que vegetação herbácea.

Figura 4.15 - Vegetações alagáveis (ISF 10b). (a) e (b) vegetações localizadas em Jacarecapá.



Fonte: O autor

Alguns ambientes identificados em campo que não possuem um índice, mas são importantes e apresentam elevada sensibilidade social por serem locais de ocupação ribeirinha desordenada. São margens com diversas estruturas e declividade moderada, com ou sem proteção, misturadas com fragmentos de vegetação, entulhos e resíduos sólidos urbanos. Ambientes que apresentam

substratos como areia, cascalho, entulho, fragmentos de rochas, entre outros. Além da presença de balsa de combustível para abastecimento das embarcações. Os esgotos são lançados no rio e próximo as habitações. Além disso a pesca de jacarés e camarões. Quanto ao comportamento do óleo nesses ambientes os substratos apresentam elevada permeabilidade, com penetração até 50 cm. A maior percolação dificulta a limpeza, podendo causar erosão. A persistência do óleo pode ser alta se houver soterramento ou retenção nas irregularidades do substrato.

Figura 4.16 - Ambientes de elevada sensibilidade sem ISF. (a), (b), (c), (d), (e) e (f) são localizados ao longo da orla do município, tanto no período seco, quanto no período chuvoso.



CAPÍTULO V

5 CONCLUSÃO

O mapeamento e análise do índice da sensibilidade ambiental ao óleo em ambiente fluvial (ISF), permitiu identificar que 61,43% da área de estudo é altamente sensível, sendo representada pelo banco de macrófitas aquáticas (ISF 10a), seguido de 19,61% das vegetações alagáveis (ISF10b), totalizando 81,04 %. Desta forma, na ocorrência de eventuais acidentes envolvendo derramamento de óleo, estas devem ser as regiões com maior prioridade para as ações de contingência do contaminante, de modo que prejuízos ao meio ambiente sejam minimizados. Entre os ambientes mapeados 8,78% foram classificados como zona de confluência de rios e lagos (ISF 9), 3,17% como praia ou banco de lama exposto (ISF 7), 3,79% como praia ou banco de lama abrigado (ISF 8) e 2,51% como praia ou banco de areia/seixo exposta (ISF 5), caracterizando a alta sensibilidade da região ao óleo.

A classificação avaliada pelo índice Kappa obteve um desempenho de 0,86. Considerada excelente. Sendo que a classe floresta alagável/densa corresponde ao ISF 10b abrangendo 61,43% da área, a classe chavascal (densidade florestal menor) foi atribuído ISF 10a com 19,61%, praias de margem com ISF 8 e 3,79% da área, Barras ou bancos fluviais classificado com ISF 7 e 3,17% e margens de rio e ilhas com ISF 6 e 0,62%.

A curva granulométrica demonstrou uniformidade nos ambientes mapeados, demonstrando que os tamanhos dos sedimentos variaram de areia fina, média e grossa.

O mapeamento em escala detalhada da área em estudo permitiu a representação de feições com tamanho reduzido. O detalhamento desses ambientes é fundamental para orientar as ações de combate e emergência no caso de um derramamento de óleo, principalmente em uma área onde predominam áreas de alagamento sazonal.

A adaptação do ISF a partir dos índices de sensibilidade do litoral mostrou-se adequada para a aplicação em ambientes fluviais, abrangendo grande variabilidade das feições marginais. Neste estudo, as características marginais estão relacionadas com a complexa dinâmica fluvial do Lago Grande, o qual é abastecido pelo Rio Amazonas.

Este trabalho pretende contribuir para a gestão de contingência no país trazendo novas perspectivas para a sensibilidade fluvial e motivando maiores estudos nesta linha, já que há poucas informações sobre o impacto do óleo nas margens e nas vegetações. Considera-se que a inclusão de variáveis dinâmicas seria uma alternativa futura para aperfeiçoar a resposta à emergência neste ambiente. Espera-se que este estudo incite complementações e atualizações nas metodologias usuais

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

Como sugestão para trabalhos futuros poderiam ser propostos o (i) mapeamento com o método do ISF em outros ambientes fluviais ou lagunares das regiões próximas ao município para avaliar a aplicabilidade da metodologia apresentada, (ii) aprimorar o ISF considerando inserir variáveis dinâmicas na classificação das margens, como: nível, vazão e direção e intensidade dos ventos, (iii) aplicar na região de estudo análises de risco, diferenciando as vias navegáveis, e diferentes cenários.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -. **NBR 7181**: Análise Granulométrica de Solos. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007**: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ADAMS, J.K.; HEIKAMP, A.J.; HANNAH R.P. Method for ranking biological resources in oil spill response planning. **Proceedings of the 1983 Oil Spill Conference**, v. 1983, p.159-164, 1983.

ALMEIDA, E. F. Uso de Dados Multisensor para geração de Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo, nos Ecossistemas Costeiros da Região do Cabo Norte, Amapá. **Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto INPE**, Natal, p.4543-4551, 2009.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Disponível em <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 24 de Julho de 2017.

ANDRADE, M. M.N.; SZLAFSZTEIN, C. F.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; ARAÚJO, A. R.; GOMES, M. K. T. A socioeconomic and natural vulnerability index for oil spills in an Amazonian harbor: A case study using GIS and remote sensing. **Journal of Environmental Management**, v. 91, p.1972-1980, 2010.

API (American Petroleum Institute). Fate of spilled oil in marine waters: Where does it go? What does it do? How do dispersants affect it?. **API Publication**, n. 4691, USA. 1999.

ARAÚJO, J.F.V.; MONTALVÃO, R.M.G.; LIMA, M.I.C.; FERNANDES, P.E.C.A.; CUNHA, F.M.B.; FERNANDES, C.A.C.; BASEI, M.A.S. Geologia. Brasil. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. Folha SA.21 – Santarém: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 10, p.15–507, 1976.

ARAÚJO, M. M; LONGHI, S. J.; BRENA, D. A.; BARROS, P. L. C.; FRANCO, S. Análise de Agrupamento da Vegetação de um Fragmento de Floresta Estacional Decidual Aluvial, Cachoeira do Sul, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p.133-147, 2004.

ARAUJO, S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. Mapas de sensibilidade ambiental a derrames de óleo: ambientes costeiros, estuarinos e fluviais. Rio de Janeiro: Petrobras, 166p., 2006.

ArcGIS. Manual do software. 2018. <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/>>. Acesso em: 13 de Agosto de 2018.

BACA, B.J.; GETTER, C.D.; LINDSTEDT-SIVA J.. Freshwater oil spill considerations: protection and cleanup. **Proceedings of the 1985 Oil Spill Conference**, v. 1985, p.385-390, 1985.

BARBOSA, R.I.; CAMPOS, C. Detection and geographical distribution of clearing areas in the savannas (‘lavrado’) of Roraima using Google Earth web tool. **Journal of Geography and Regional Planning**, v. 4, n. 3, p.122-136, 2011.

BENEDITTI, C. A.; RIEDEL, P. S.; LUPINACCI, C. M.; MILANELLI, J. C. C.; AGUILAR, R. L. Mapeamento dos Índices de Sensibilidade Ambiental ao Óleo em Trecho do Rio Tietê. **Geociências**, v. 35, n. 2, p.220-230, 2016

BENEDITTI, C.P. **Vulnerabilidade ambiental ao óleo em ambiente fluvial: estudo de caso rio Tietê/Reservatório de Barra Bonita-SP**. 2015. (Tese de Doutorado), Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2015.

BIRKLAND, T.A., L.A. e WRENCE, R.G., 2002. The Social and Political Meaning of the Exxon Valdez Oil Spill. **Spill Science & Technology Bulletin**, 7(1-2), 17-22p.

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 65, p.2-16, 2010.

BLOTT, S.J.; PYE, K. Particle size scales and classification of sediment types based on particle size distributions: Review and recommended procedures. **Sedimentology**, 59, p.2071-2096, 2012.

BOUBLI, J. P. Lowland floristic assessment of Pico da Neblina National Park, Brazil. **Plant Ecology**, Netherlands, v.160, n.2, p.149-167, 2002.

BOULHOSA, M. B. M.; SOUZA FILHO, P. W. M. Reconhecimento e mapeamento dos ambientes costeiros para geração de mapas de ISA ao derramamento de óleo, Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.27(Supl. 1), p.23-37, 2009.

BOYACI, D.; ERDOGAN, M.; YILDIZ, F. Pixel- versus object-based classification of forest and agricultural areas from multiresolution satellite images. **Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences**, v. 25, p.365-375, 2017.

BRIERLEY, G.J., FRYIRS, K. *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*. Blackwell Publishing, Oxford, UK. p.398, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 398, de 11 de junho de 2008. Dispõe sobre o conteúdo mínimo do Plano de Emergência Individual para incidentes de poluição por óleo em águas sob jurisdição nacional, originados em portos organizados, instalações portuárias, terminais, dutos, sondas terrestres, plataformas e suas instalações de apoio, refinarias, estaleiros, marinas, clubes náuticos e instalações similares, e orienta a sua elaboração, 2008. <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=575>>. Acesso em: 16 de novembro de 2018.

CANTAGALLO, C; GARCIA, G.J.; MILANELLI, J.C.C. Mapeamento de sensibilidade ambiental a derramamentos de óleo do sistema estuarino de Santos, estado de São Paulo. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol.**, v. 12, n. 2, p.33-47, 2008.

CAPUTO, M.V. **Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil**. 1984. 583 f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade de Santa Bárbara-Califórnia, Califórnia, 1984.

CAPUTO, M.V.; RODRIGUES, R.; VASCONCELOS, D.N.N. Litoestratigrafia da Bacia do Amazonas. Belém, **PETROBRAS/RENOR**, 641-A, p.92, 1971.

CARLEER, A.P.; WOLFF, E. Region-based classification potential for land-cover classification with very high spatial resolution satellite data. **Anais...Proceedings of 1st International Conference on Object-based Image Analysis**, 4-5 Jul 2006; Salzburg University, Austria, p. 1682-1777, 2006.

CDP - COMPANHIA DOCAS DO PARÁ. Plano mestre: Porto de Santarém. Disponível em < <https://www.cdp.com.br/porto-de-santarem>>. Acesso em: 22 de maio. de 2017.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 49 n. 12, p.1671-1678, 1991.

CONGALTON, R.G. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. **Remote Sensing Environmental**, 37, p.35-46, 1991.

CONGALTON, R.G.; GREEN, K. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. 2nd ed. Principles and Practices. Taylor and Francis Group, New York, 210p, 2009.

CORENBLIT, D.; BAAS, A.C.W.; BORNETTE, G.; DARROZES, J.; DELMOTTE, S.; FRANCIS, R. A.; GURNELL, A. M.; JULIEN, F.; NAIMAN, R. J.; STEIGER, J. Feedbacks between geomorphology and biota controlling Earth surface processes and landforms: A review of foundation concepts and current understandings. **Earth-Science Reviews**, v.106, p.307–331, 2011.

COSTA, F. M. **Aquisição de conhecimento de agentes textuais baseada em MORPH**. 2013. 131 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2013.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Geodiversidade do estado do Pará / Organização Xafi da Silva Jorge João, Sheila Gatinho Teixeira, Dianne Danielle Farias Fonseca. - Belém: CPRM, 2013.

CPRM – GEOBANK (2015) “CPRM - Carta geodiversidade do Brasil ao milionésimo SA-21” Disponível em < <http://geobank.sa.cprm.gov.br>>. Acesso em: 06 de Março de 2016.

CPRM – Geobank, 2018. CPRM - Carta geodiversidade do Brasil ao milionésimo SA-21. < <http://geosgb.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 16 de novembro de 2018.

CUNHA, F.M.B.; CAPUTO, M.V. Novos Aspectos da Geologia de Monte Alegre e Áreas Circunvizinhas. Relatório Interno Petrobrás Renor, 690(A), p. 20, 1974.

CUNHA, P. R. C. **Análise estratigráfica dos sedimentos eo/mesodevonianos da porção ocidental da bacia do Amazonas sob a ótica da estratigrafia de sequências no interior cratônico**. (Dissertação de Mestrado) - Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.

CUNHA, P.R.C., GONZADA, F.G., COUTINHO, L.F.C., FEIJÓ, F.J. Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências da Petrobrás. Rio de Janeiro, Brasil, v. 8, n. 1, p.47-55, 1994.

CUNHA, P.R.C.; MELO, J.H.G.; SILVA, O.B. Bacia do Amazonas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 2, p.227-251, 2007.

DAEMON, R.F.; CONTREIRAS, C.S.A. Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas. Congresso Brasileiro de Geologia, 25., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG. v 3, p. 29-92, 1971.

EIRAS, J. F.; BECKER, C. R.; SOUZA, E. M.; GONZAGA, F. G.; SILVA, J. G. F.; DANIEL, L. M. F.; MATSUDA, N. S.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Solimões. Boletim de Geociências da Petrobrás. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 17-45. Kistler P. 1954. Historical resume of the basin. Belém: PETROBRAS RENOR, Relatório Interno, 104(A), 1994.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Caracterização e mapeamento dos solos, avaliação da aptidão agrícola das terras e zoneamento agroecológico do município de Monte Alegre, estado do Pará. CPATU - Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental, p.120, 1998.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Zoneamento agroecológico do Município de Monte Alegre, Estado do Pará. CPATU - Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental.122p, 1999.

FAY, J. A. Oil on the Sea. Plenum Press, New York. London. p. 114, 1969.

FAY, J. A. Oil on the Sea. Plenum Press, New York-London, 1969. 114p. FAY, J. A., Physical Processes in the Spread of Oil on the Water Surface, Plenum Press, New York. 1971.

FINGAS, M. Introduction to spill modeling. In: Oil spill science and technology: prevention, response, and clean up. Elsevier. p.187-200, 2010.

FINGAS, M. The Basics of Oil Spill Cleanup. In: Oil spill science and technology: prevention, response, and clean up. CRC Press. Ed. 3. p.273, 2013.

FLANDERS, D.; HALL-BEYER, M.; PEREVERZOFF, J. Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 4, p.441-452, 2003.

FOLK, R.L. A Review of Grain-Size Parameters. **Sedimentology**, 6, p.13-93, 1966.

FOLK, R.L. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas 184p, 1974.

FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, n. 1, p.3-26, 1957.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, p.185-201, 2002.

FOODY, G.M. Thematic Map Comparison: Evaluating the Statistical Significance of Differences in Classification Accuracy. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 70, n.5, p.627-633, 2004.

GAO, Y.; MAS, J. F. A comparison of the performance of pixel-based and object-based classifications over images with various spatial resolutions. **Online Journal of Earth Sciences**, 2.1, p. 27-35, 2008.

GUNDLACH, E.R.; HAYES, M.O. Vulnerability of Coastal Environments to Oil Spill Impacts. In: **Marine Technology Society Journal**, 12(4), p.18-27, 1978.

GUO, W. Development of a statistical oil spill model for risk assessment. **Environmental Pollution**, 230, p.945-953, 2017.

GURNELL, A. M.; BERTOLDI, W.; CORENBLIT, D. Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers. **Earth-Science Reviews**, v. 111, p.129–141, 2012.

HARTT, C.F. Monte Alegre e Ererê – Trabalhos restantes inéditos da Comissão de Geologia do Brasil (1875 – 1878). Boletim do Museu Paraense de História Natural e Ethnographia, Tomo I I (Fascículos 1 – 4). 1897 – 1898, Pará, p. 322-40, 1898.

HAYES, M O.; MICHEL, J.; MONTELLO, T. M. The environmental sensitivity index (ESI) for mapping rivers and streams. **International Oil Spill Conference**, p.343-350, 1997.

HAYES, M. O.; MICHEL, J.; DAHLIN, J. A. Identifying and mapping sensitive resources for inland area planning. **International Oil Spill Conference**, p.365-371, 1995.

HAYES, M.O, MICHEL, J., MONTELLO, T.M. The Reach Sensitivity Index (RSI) for Mapping Rivers and Streams. **International Oil Spill Conference Proceedings**, p.343-350, 1997.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico de Uso da Terra, Manuais Técnicos em Geociências, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. Rio de Janeiro, JR, Brazil. <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/usodaterra/manual_usodaterra.shtml> Acesso em: 17 de novembro de 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censos demográficos e contagens populacionais, 2010. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em 10 de maio de 2017.

INTERNATIONAL PETROLEUM INDUSTRY ENVIRONMENTAL CONSERVATION ASSOCIATION - IPIECA. A guide to contingency planning for oil spills on water. Série de relatórios de IPIECA. v.2, 2010. Disponível em: <<http://www.ipieca.org>>.

IRIONDO, M. H. Geomorfologia da planície amazônica. **Anais...Ata do IV Simpósio do Quaternário no Brasil**, p.323-348, 1982.

ITOPF. ITOPF handbook 2004/2005. London, UK, p.48, 2005.

JANEIRO, J., FERNANDES, E., MARTINS, F., FERNANDES, R. Wind and freshwater influence over hydrocarbon dispersal on Patos Lagoon, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 56, p.650–665, 2008.

JANSSEN, L.L.F.; van der WEL, F.J.M. Accuracy Assessment of Satellite Derived Land-Cover Data: A Review. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, 60, p.419-426, 1994.

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

JENSEN, J.R.; RAMSEY III, E.W.; HOLMES, J.M.; MICHEL, J.E.; SAVITSKY, B.; DAVIS, B.A. Environmental sensitivity index (ESI) mapping for oil spills using remote sensing and-geographic information system technology. **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 4, n. 2, p.181-201, 1990.

JORGE-JOÃO, X.S.; TEIXEIRA, S.G.; FONSECA, D.D.F. Geodiversidade do estado do Pará. Programa Geologia do Brasil: Levantamento da Geodiversidade. Belém: CPRM, p.258, 2013.

KISTLER P. Historical resume of the basin. Belém: PETROBRAS RENOR, São Paulo, Relatório Interno, 104(A), 1954.

KRISCHKE, M.; NIEMEYER, W.; SCHERER, S. RapidEye satellite based geo-information system. **Acta Astronautica**, v. 46, n. 2-6, p.307-312, 2000.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. **Biometrics**, 33, p.159-174, 1977.

LEMOES, A.T., SOARES, I.D., GHISOLFI, R.D., CIRANO, M. Oil Spill Modeling off the Brazilian Eastern Coast: The Effect of Tidal Currents on Oil Fate. **Sociedade Brasileira de Geofísica**, 27(4), p.625-639, 2009.

LEPO, J.E.; CRIPE, C.R.; KAVANAUGH, J.L.; ZHANG, S.; NORTON, G.P. The effect of amount of crude oil on extent of its biodegradation in open water- and sandy beach-laboratory simulations. **Environmental Technology**, p.1291-302, 2003.

LILLESAND, T.M.; KIEFFER, R.W. Remote sensing and image interpretation. John Wiley & Sons. Ed3. New York, EUA. p.750, 1994.

LIMA, M. V.; DIAS-BRITO, D.; MILANELLI, J. C. C. Mapeamento da sensibilidade ambiental a derrames de óleo em Ilhabela, São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.60(02), p.145-154, 2008.

LOPES, C.F.; MILANELLI, J.C.C.; GOUVEIA, J.L.N. Materiais absorventes. Meio Ambiente Industrial, São Paulo, v. 9, n. 53, p.42-46, 2005.

MA, L.; LI, M.; MA, X.; CHENG, L.; DUA, P.; LIU, Y. A review of supervised object-based land-cover image classification. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 130, p.277-293, 2017.

MAKINDEA, E. O.; SALAMIB, A. T.; OLALEYEA, J. B.; OKEWUSIA, O. C. Object Based and Pixel Based Classification using Rapideye Satellite Imagery of Eti-Osa, Lagos, Nigeria. **Geoinformatics FCE CTU**, v.15, n. 2, p.59-70, 2016.

MARTINS, P.T.A.; RIEDEL, P. S.; MILANELLI, J.C.C.; STURARO, J. R. Carta da Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo em Rodovias: Aplicação Piloto na Estrada dos Tamoios (SP-099), Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66(1), p. 59-74, 2014.

MICHEL, J., HAYES, M.O., BROWN, P.J. Application of an Oil Spill Vulnerability Index to the Shoreline of Lower Cook Inlet, Alaska. **Environment Geology**, v. 2, p.107-117, 1978.

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

MICHEL, J; HAYES, M. O.; BROWN, P. L. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of Lower Cook Inlet, Alaska. **Environment Geology**, v. 2, p.107-117, 1978.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Especificações e Normas Técnicas para Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental, Gerência de Qualidade Costeira do Ar. 107p., 2007.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Especificações e Normas técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para derramamentos de óleo, 2004. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos. Brasília, DF, Brasil. <<http://www.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-desensibilidade-ao-oleo/metodologia>>. Acesso em: 17 de novembro de 2018.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Especificações e normas técnicas para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo. Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos. Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho. Brasília, p.22, 2004.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Plano de Manejo do Parque Estadual Monte Alegre. Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável. Programa de Desenvolvimento do Ecoturismo na Amazônia Legal-PROECOTUR. Belém, p.333, 2009.

MOE, K. A; SKEIE, G. M.; BRUDE, O. W.; LOVAS, S. M.; NEDREBOS, M.; WESLAWSKI, J. M. The Svalbard intertidal zone: a concept for the use of GIS in applied oil sensitivity, vulnerability and impact analyses. **Spill Science & Technology Bulletin**, v. 6, n. 2, p.187-206, 2000.

MORALES, L.G. Geology and oil possibilities of Amazonas Basin. American Association of Petroleum Geophysicists (AAPG). **Anais...5th World Petroleum Congress**, 1959.

MULER, M.; ROMERO, A.F.; RIEDEL, P.S.; PERINOTTO, R.R.C. Ações de Resposta para Emergência em caso de Derrames de Óleo no Mar e Proposta de Implementação de Sistema de Informação voltado à Sensibilidade Ambiental para o Litoral Sul Paulista, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v.11(4), p.397-407, 2011.

NELSON, J.R., GRUBESIC, T.H. Oil spill modeling: Risk, spatial vulnerability, and impact assessment. **Progress in Physical Geography**, p.1–17, 2017.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION -. Sensitivity of Estuarine and Riverine Environments and Wildlife to Spilled Oil Columbia River Atlas. NOAA Technical Memorandum. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, 2004.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Environmental sensitivity index guidelines, Version 3.0. NOAA Technical Memorandum NOS ORCA 115. Seattle: Hazardous Materials Response and Assessment Division, p.79, 2002.

OLIVEIRA-JUNIOR, R. C. de; RODRIGUES, T. E.; SANTOS, P. L. dos; VALENTE, M. A. Zoneamento agroecológico do município de Monte Alegre, Estado do Pará. Belém: EMBRAPA, p.87, 1999.

OWENS, E. H.; ROBILLIARD, G. A. Shoreline sensitivity and oil spills – a re-evaluation for the 1980's. **Marine Pollution Bulletin**. v. 12, n. 3, p.75-78, 1981.

PASTANA, J.M.N. Síntese geológica e favorabilidade para tipos de jazimentos minerais do Município de Monte Alegre-PA. Belém: CPRM. p.34, 1999.

PINCINATO, F.L.; RIEDEL, P.S.; MILANELLI, J.C.C. Modelling an expert GIS system based on knowledge to evaluate oil spill environmental sensitivity. **Ocean & Coastal Management**, v. 52, p.479–486, 2009.

PLATA, D.; REDDY, C. M. Photochemical Degradation of Select Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: First-Order Disappearance Rates and Primary Degradation Mechanisms in Oil-Contaminated Coastal Zones. **ACS Nat Meet Book of Abstr**, p. 230, 2005.

PRIMAZ - PROGRAMA INFORMAÇÕES PARA A GESTÃO TERRITORIAL – Monte Alegre. Séries, Solos, Socioeconomia, Turismo, Hidrologia, 1999.

RAPIDEYE. Satellite Imagery Product Specifications, 2017. < <https://www.planet.com/> >. Acesso em: 20 de novembro de 2017.

RAPIDEYE. Satellite Imagery Product Specifications. Disponível em: < <https://www.planet.com/> >. Acesso em: 20 de novembro de 2017.

REED, M.; JOHANSEN, Ø.; BRANDVIK, P.J.; DALING, P.S.; LEWIS, A.; FIOCCO, R.; MACKAY, D.; PRENTKI, R. Oil Spill Modeling towards the Close of the 20th Century: Overview of State of the Art. **Spill Science & Technology Bulletin**, v.5, n. 1, p.3-16, 1999.

RODRIGUES, S.W.P, SOUZA-FILHO, P.W.M. Mapping of Environmental Sensitivity Index to Oil Spill from Landsat TM Images: “A Study Case on the Amazon Coastal Plain”. **Revista Brasileira de Geofísica**, 30(4), p.533-543, 2012.

ROSSETTI, D.F.; NETO, R.G. First evidence of marine influence in the Cretaceous of the Amazonas Basin, Brazil. **Cretaceous Research**, p.1-16, 2006.

SANTOS, L.C.M., LIGNON, M.C., NOVELLI, Y.S., MOLERO, G.C. Long-term effects of oil pollution in mangrove forests (Baixada Santista, Southeast Brazil) detected using a GIS-based multitemporal analysis of aerial photographs. **Brazilian Journal of Oceanography**, 60(2), p.159-170, 2012.

SANTOS, V.F., MENDES, A.C., SILVEIRA, O.F.M. (in memoriam). Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo da Bacia Marítima da Foz do Amazonas. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Macapá: IEPA, 160 p, 2016.

SCIPIONI, M. C.; GALVÃO, F.; LONGHI, S. J. Composição Florística e Estratégias de Dispersão e Regeneração de Grupos Florísticos em Florestas Estacionais Deciduais no Rio Grande do Sul. **Floresta**, Curitiba, v. 43 (2), p. 241 - 254, 2013.

SHACKELFORD, A.K.; DAVIS, C.H. A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high-resolution multispectral data over urban areas. **IEEE T Geoscience Remote**, v. 41, p.2354-2364, 2003.

SILVA, P.M., MIRANDA, F.P., LANDAU, L. Mapping the Brazilian Amazon fluvial sensitivity index to oil spills with Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data. **Geocarto International**, v. 33, p.555-572, 2016.

SILVEIRA, L.T; PINHEIRO, R.V.L; PINHEIRO, S.V.L. Roteiro Espeleológico das Serras do Ererê e Paituna (Monte Alegre-PA). Belém, 1984.

SOUZA-FILHO, P. W. M.; PROST, T. R. C.; MIRANDA, F. P.; SALES, M. E. C.; BORGES, H. V.; COSTA, F. R.; ALMEIDA, E. F.; NASCIMENTO JUNIOR, W. R. Environmental Sensitivity Index (ESI) Mapping of Oil Spill in the Amazon Coastal Zone: The Piatam Mar Project. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, n. 1, p.7-22, 2009.

SOUZA-FILHO, P. W. M. Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo das Bacias Marítimas do Pará-Maranhão e Barreirinhas. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, MMA, p.127, 2016.

STEHMAN, S.V. Estimating the kappa coefficient and its variance under stratified random sampling. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 62, n. 4, p. 401-402, 1996.

TANCREDI, A.C.F.N.S. **Recursos hídricos subterrâneo de Santarém: fundamentos para uso e proteção**. 1996. 153 f. (Tese de Doutorado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, p.147, 1996.

THOMAZ, S. M.; ROBERTO, M. C.; BINI, L. M. Caracterização limnológica dos ambientes aquáticos e influência dos níveis fluviométricos. Em: Vazzoler, A. E. A. M.; Agostinho, A. A.; Hahn, N. S. (Eds.). A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconomicos. Maringá, EDUEM, p.73-102, 1997.

TRIMBLE. eCognition Developer 9.0 User Guide. Trimble Germany GmbH, Munich, Germany, 270p, 2014.

UCHÔA, A.C.C. **O transporte de óleo diesel como potencial fonte de poluição na região do porto de Santana-AP**. Dissertação (Mestrado) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Programa de Mestrado Integrado em Desenvolvimento Regional. 110 p. 2014.

UDDEN, J.A. Mechanical composition of clastic sediments. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 25, p.655–744, 1914.

VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. Geologia e recursos minerais do Estado do Pará: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Pará. Belém, PA: CPRM. 327 p. il. color. Programa Geologia do Brasil (PGE), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil. Mapas geológicos estaduais. Escala 1:1.000.000, 2008.

WALSH, S.J.; BUTLER, D.R.; MALANSON, G.P. An overview of scale, pattern, process relationships in geomorphology: a remote sensing and GIS perspective. **Geomorphology**, 21, p.183-205, 1998.

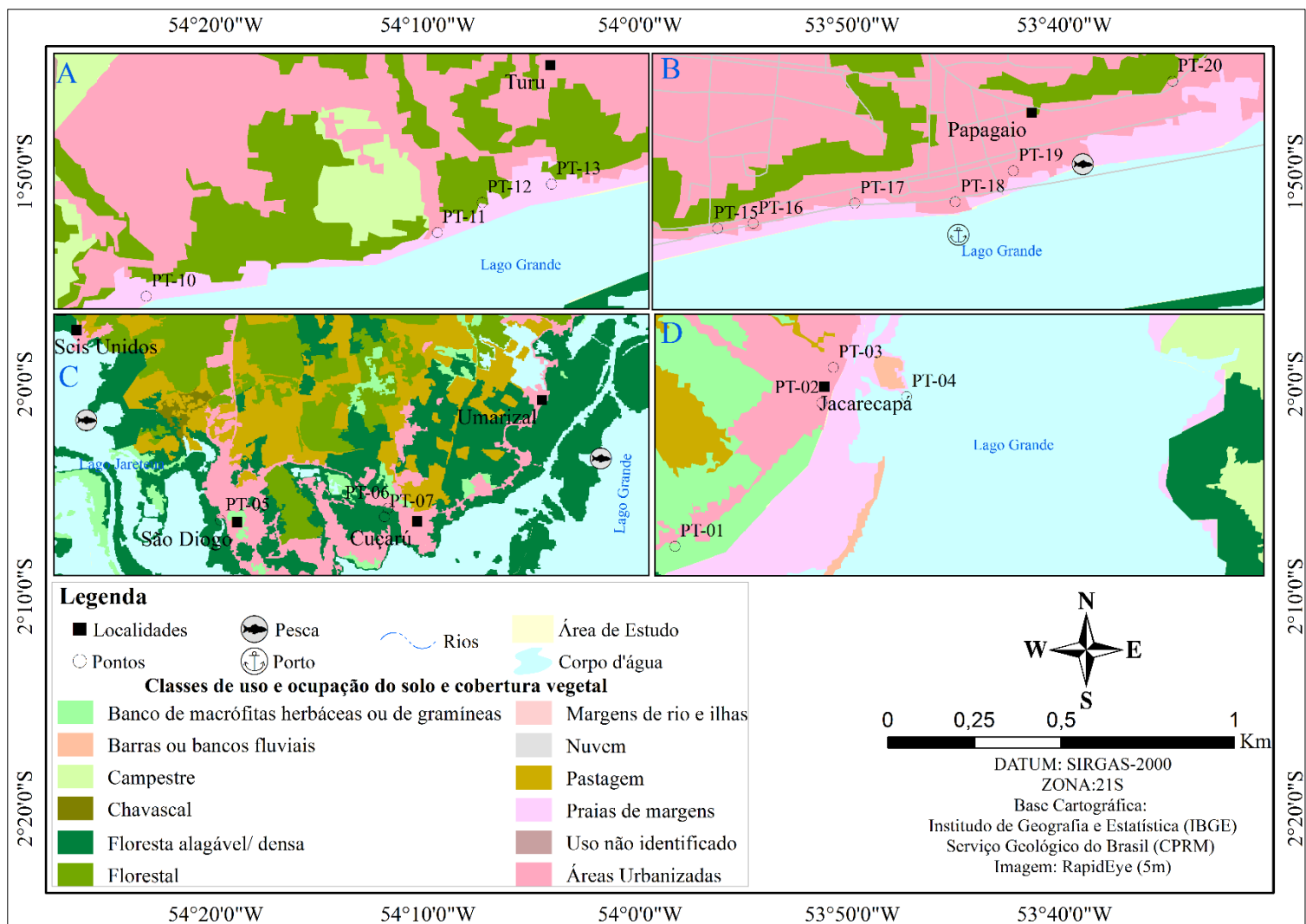
WANG, S.D., SHEN, Y.M., ZHENG, Y.H. Two-dimensional numerical simulation for transport and fate of oil spills in seas. **Ocean Engineering**, v.32, p.1556-1571, 2005.

WENTWORTH, C.K. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**, v. 30, p.377–392, 1922.

WIECZOREK, A.; DIAS-BRITO, D.; MILANELLI, J.C.C. Mapping oil spill environmental sensitivity in Cardoso Island State Park and surroundings areas, São Paulo, Brazil. **Ocean & Coastal Management**, v. 50, p.872-886, 2007.

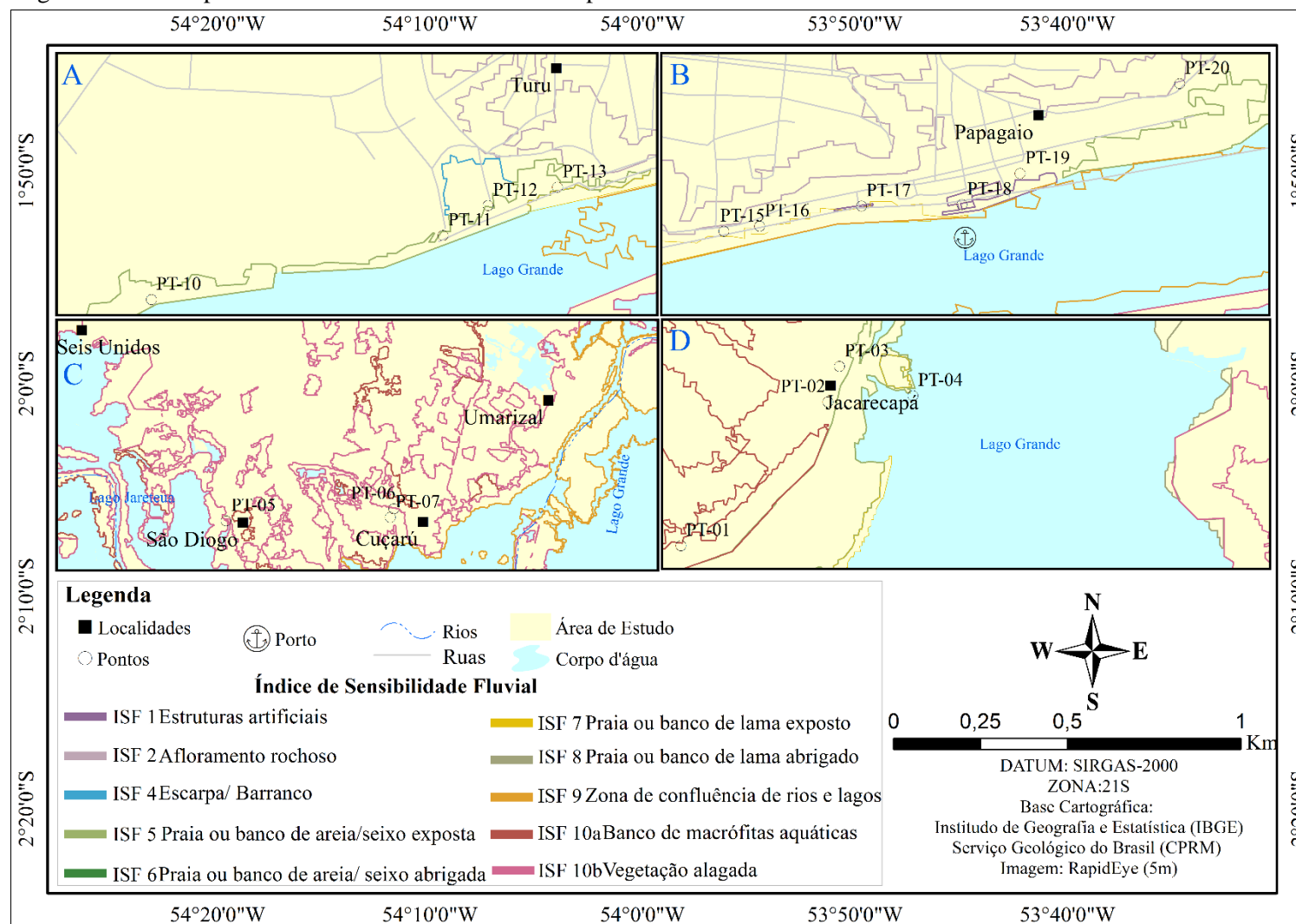
APÊNDICE A

Figura A.0.1 – Mapa de uso e ocupação do solo com as das 4 subáreas delimitadas em campo.



APÊNDICE B

Figura B.0.1 – Mapa de Índice de Sensibilidade Fluvial para as 4 subáreas.



APÊNDICE C

Trabalho aceito no 15º Simpósio de Geologia da Amazônia – 2017.

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO DERRAMAMENTO DE ÓLEO PROVOCADO POR TRANSPORTES FLUVIAIS NA ORLA DE SANTARÉM – PA

Dayara Bastos Palheta^{1,2}, *Suzan Waleska Pequeno Rodrigues*³, *Anderson Alvarenga de Moura Meneses*^{1,2}

¹PPGRNA-Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia - Universidade Federal do Oeste do Pará. *E-mail*: dayarapalheta@gmail.com, anderson.meneses@pq.cnpq.br.

²Laboratório de Inteligência Computacional (LabIC).

³UnB-Universidade de Brasília. *E-mail*: suzanpequeno@unb.br.

RESUMO

O rio Amazonas, considerado um dos mais complexos rios do mundo, possui um sistema fluvial bem desenvolvido e uma extensa planície fluvial. O rio Amazonas e seus tributários são as principais vias de acesso as comunidades ribeirinhas ou cidades como: Santarém, Monte Alegre, Almeirim, entre outros. A utilização de embarcações como meio de transporte propicia sinistros como a contaminação de óleo/diesel que chegam as margens dos rios e contaminam o ambiente, assim como interfere na fauna e flora da região, deste modo, estudar a vulnerabilidade ambiental a estes tipos de intempéries é um fator que poderá contribuir com a tomada de decisões, alertado programas de contingência e melhor gestão, caso ocorram maiores influências destes materiais como contaminantes. Os primeiros estudos em relação a vulnerabilidade no Brasil foram produzidos inicialmente por Crepani *et al.* (1996, 2001), Ribeiro e Campos (2007), Tagliani (2002), Carvalho *et al.* (2003) e Nascimento e Dominguez (2009), em que estudaram a vulnerabilidade natural à erosão, utilizando índices que avaliassem as condições das áreas estudadas a partir da junção de várias informações temáticas como: geologia, geomorfologia, declividade, vegetação, uso e ocupação do solo. Levando-se em consideração a grande quantidade de pontos de atracamento de embarcações ao longo da orla de Santarém, tanto para finalidade comercial quanto para turística, este trabalho tem como finalidade gerar um mapa de vulnerabilidade ambiental ao derramamento de óleo diesel para a orla da cidade Santarém-PA, baseado na metodologia de trabalhos já consagrados na área, como uma consequência das atividades portuárias ao longo da área de estudo. A cidade de Santarém está localizada na região norte do Brasil, na mesorregião do Baixo Amazonas e microrregião de Santarém. Limita-se ao norte com os municípios de Alenquer, Monte Alegre e Óbidos; ao sul com Rurópolis e Placas, ao leste por Prainha e Uruará, ao oeste com Juruti e Aveiro e, ao centro com Belterra (SEMMA/CIAM, 2013). A área de estudo (Figura 1) está situada ao norte da cidade de Santarém. Enquadra-se, aproximadamente, entre as coordenadas 748702,80 E/ 9731429,26 S e coordenadas 757574,45 E / 9731429,26 S.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, ambientes fluviais, derramamento de óleo, uso do solo.

APÊNDICE D

Trabalho submetido na revista Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ) - 2018

Vulnerabilidade ambiental ao derramamento de óleo em Santarém (PA)

Environmental vulnerability to oil spill in Santarém (PA)

Dayara Bastos Palheta¹; Fábio Ferreira Dourado²; Anderson Alvarenga de Moura Meneses¹; Suzan Waleska Pequeno Rodrigues³ & Milena Marília Nogueira de Andrade⁴

¹*Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia, Laboratório de Inteligência Computacional, Campus Tapajós, Rua Vera Paz, s/n, Bairro Salé, CEP 68035-110, telefone (93) 2101-4960, Santarém, PA, Brasil*

²*Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Laboratório de Estudos Costeiros, Campus Centro Politécnico, Rua Francisco Heráclito dos Santos, Bloco VI, nº 100, Bairro Jardim das Américas, CEP 81531-980, telefone (41) 3361- 3135, Curitiba, Brasil*

³*Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70910900, telefone (61) 3107-6760, Brasília, DF, Brasil*

⁴*Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto Ciber Espacial, Engenharia Ambiental, Campus Belém, Avenida Presidente Tancredo Neves, nº 2501, Bairro Terra Firme, CEP 66077-830, telefone (91) 3210-5109, Belém, PA, Brasil*

E-mail: dayarapalheta@gmail.com; fabioo.f.dourado@gmail.com; anderson.meneses@pq.cnpq.br; suzanuffa@gmail.com; milenamarilia.andrade@gmail.com

Resumo

Derrames de óleo podem impactar o ambiente natural e antrópico. O objetivo do presente trabalho é o mapeamento da vulnerabilidade ambiental ao derramamento de óleo diesel, provenientes dos transportes fluviais, comerciais e turísticos. A área de estudo está localizada na orla de Santarém – PA, Brasil, na confluência dos rios Amazonas e Tapajós. Para isso, foram utilizados como base mapas temáticos de: uso/ocupação do solo e cobertura vegetal, declividade, solo, geologia e de inundação, os quais foram *rasterizados* e posteriormente reclassificado com o *software* ArcMap 10.3 em categorias hierárquicas de acordo com classes de vulnerabilidade para cada variável mapeada, utilizando-se de valores de “1” (menos vulnerável) a “5” (mais vulnerável), adaptados da metodologia consagradas. Com base na análise do mapa de vulnerabilidade ambiental, foi possível observar na área de estudo as áreas de muito alta e alta vulnerabilidade ocorrem a extremo leste, região central e nas proximidades da foz do igarapé Irurá. Tal área é uma área urbana onde ocorrem inundações. A predominância da classe de média vulnerabilidade, correspondente a 45% da área estudada, é devida principalmente à interação da classe de uso do solo com a unidade litológica de sedimentos referentes ao Depósitos Aluvionares e a Formação Alter do Chão. Nesta classe localiza-se o Porto Organizado de Santarém com atividades intensas de transporte de cargas e pessoas.

Palavras-chave: Vulnerabilidade; Sensoriamento, Ambientes, Derramamento; fluvial.

APÊNDICE E

Trabalho submetido na revista Marine Pollution Bulletin - 2018

MAPPING OF ENVIRONMENTAL FLUVIAL SENSITIVITY INDEX TO OIL SPILLS IN THE AMAZON: A CASE STUDY AT MONTE ALEGRE, PA, BRAZIL, USING RAPIDEYE IMAGE PROCESSING

Dayara Bastos Palheta^{1,2}, Suzan Waleska Pequeno Rodrigues³, Anderson Alvarenga de Moura Meneses^{1,2}

¹Postgraduate Program in Natural Resources of the Amazon, Federal University of Western Pará, Av. Mendonça Furtado, 2946, CEP 68.040-470, Santarém, PA, Brazil

²Institute of Geosciences and Engineering, Laboratory of Computational Intelligence, Federal University of Western Pará.

³Institute of Geosciences, University of Brasília.

Abstract

Accidents involving the oil spill on water bodies affect both the environment as socioeconomic resources, which are important for local populations. In this sense, the present work intends to contribute to the identification of physical environments more sensitive to oil contamination applying a classification of environmental fluvial sensitivity indexes (FSI) for oil spills in the Amazon region. In this study, the river system of Monte Alegre municipality was mapped, where field surveys were carried out in four hydrological cycle phases (high water, receding water, low water, and flooding), with collection of sediment samples and surveys of marginal geomorphological and geological characteristics, which were registered with photos. A land-use map, classified in the eCognition software and Kappa index of 85%, 10%, characterized by vegetation and alluvial, present in 245.02 km², which corresponds to 61.43% of the total, being more frequent in the study area with high environmental sensitivity to oil.

Keywords: *Environmental Fluvial sensitivity index; environmental sensitivity to oil mapping; Amazon River; fluvial geomorphology.*