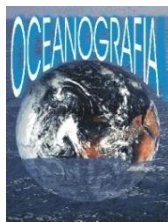




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ



FACULDADE DE OCEANOGRAFIA



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

INAIÊ MALHEIROS MIRANDA

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL COMPREENDENDO SUB-BACIAS DA ORLA SUL DA CIDADE DE BELÉM/ PA

BELÉM – PA

JANEIRO – 2012

INAIÊ MALHEIROS MIRANDA

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL
COMPREENDENDO SUB-BACIAS DA ORLA SUL DA CIDADE DE
BELÉM/ PA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Oceanografia da Universidade Federal
do Pará – UFPA, como requisito para
a obtenção do grau de bacharelado em
oceanografia.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic.

Co-orientadora: Suzan Waleska
Pequeno Rodrigues.

Belém – PA

2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

-
- M672a Miranda, Inaiê Malheiros
 Avaliação da vulnerabilidade ambiental compreendendo sub-
 bacias da orla Sul da cidade de Belém/PA / Inaiê Malheiros
 Miranda; Orientador: Marcelo Rollnic; Coorientador: Suzan
 Waleska Pequeno Rodrigues – 2012
 69 f. : il.
 Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em oceanografia) –
 Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade
 de Oceanografia, Belém, 2012.
1. Sensoriamento remoto - Belém (PA). 2. Zona costeira
 estuarina. 3. Uso do solo. I. Rollnic, Marcelo, *orient.* II. Rodrigues,
 Suzan Waleska Pequeno, *coorient.* III. Universidade Federal do
 Pará. IV. Título.

CDD 20ª ed.: 621.3678098115

INAIÊ MALHEIROS MIRANDA

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL
COMPREENDENDO SUB-BACIAS DA ORLA SUL DA CIDADE DE
BELÉM/ PA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Oceanografia da Universidade Federal
do Pará – UFPA, como requisito para
a obtenção do grau de bacharelado em
oceanografia.

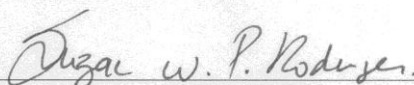
Data da Defesa: 13/01/12.

Conceito: EXCELENTE.

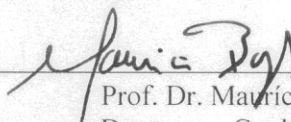
Banca Examinadora:



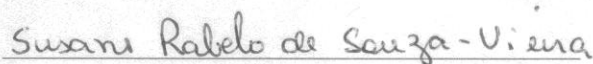
Dr. Marcelo Rollnic – Orientador
Doutor em Oceanografia Física
Universidade Federal do Pará



MSc. Suzan Waleska Pequeno Rodrigues – Co-orientadora
Mestre em Geologia e Geoquímica.
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Maurício da Silva Borges
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará



MSc. Suzane Rabelo de Souza-Vieira
MSc. em Oceanografia Física, Química e Geológica
Universidade Federal do Rio Grande

À minha avó Eneida, e aos pais, meus
grandes incentivadores

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por ter me dado sabedoria, tranquilidade, perseverança diante das adversidades e por ter colocado em meu caminho pessoas solícitas, cujo o apoio foi imprescindível para a realização deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, pelos valores e ensinamentos que me foram passados, por terem dado o seu máximo sempre e conseguido me possibilitar uma boa educação, por todo o acompanhamento, apoio, incentivo e atenção necessários para que eu conseguisse vencer mais esta etapa da minha vida.

À todos os integrantes da minha família que torceram por mim, em especial à minha avó Eneida (*in memorian*), sempre tão amorosa, alegre e cheia de ensinamentos.

Ao meu orientador Marcelo Rollnic, pelo financiamento da atividade de campo deste trabalho, por todos os apontamentos e sugestões que contribuíram para o seu enriquecimento e pela confiança em mim depositada.

À minha Co-orientadora Suzan Waleska Pequeno Rodrigues, pela sua solicitude, aceitando a proposta deste trabalho, disponibilizando seu tempo e atenção para a sua realização, pelo auxílio com os softwares e por todas as suas sugestões, tornando-o possível e engrandecendo-o também.

Aos meus grandes amigos e futuros colegas de profissão Cassiana Ribeiro (Cassi), Luíza Miranda (Luba), Lúcio de Medeiros Filho, Nathália da Luz (Nathy) e Wellen Fernanda Castelo (Nandinha) por todos os momentos de descontração, conselhos, e apoio nas fases mais difíceis desta jornada.

Aos amigos que me auxiliaram em campo, Maurício Costa, Edmir Amanajás e novamente Luba, Cassi, Lúcio e ao professor Marcelo Rollnic.

Ao LAIT (Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido), pela infra-estrutura necessária para a realização deste trabalho, e aos seus integrantes: Rafaela Salum (Rafinha), pelo auxílio na confecção do mapa de declividade e por todas as conversas e palavras de incentivo e ao Wilson, pelo auxílio com o *software Definiens*.

Ao professor Tony Carlos Dias da Costa gentilmente cedeu o mapa de geologia utilizado neste trabalho.

Ao engenheiro Érico Gaspar Lisbôa, que forneceu o *shapefile* das sub-bacias estudadas.

Aos membros da banca examinadora, prof. Dr. Maurício da Silva Borges e MSc. Suzane Rabelo de Souza-Vieira, pelas suas contribuições e apontamentos construtivos.

"Descobri como é bom chegar quando se tem paciência.
E para se chegar, onde quer que seja, aprendi que não é
preciso dominar a força, mas a razão. É preciso, antes
de mais nada, querer".

(Amyr Klink)

RESUMO

O estudo da vulnerabilidade ambiental consiste em um importante tópico científico para a análise ambiental de zonas costeiras, fornecendo informações a respeito da estabilidade do terreno, no que diz respeito ao seu comportamento face aos processos de morfogênese e pedogênese e suas inter-relações com as pressões de uso e ocupação humana. Em vista disso, o presente trabalho trata do mapeamento da vulnerabilidade ambiental em áreas que compreendem as sub-bacias da orla sul da cidade de Belém-PA (Tamandaré, Estrada Nova, Tucunduba e Murucutu), identificando zonas de maior fragilidade ambiental e subdividindo-as em classes de vulnerabilidade (baixa, baixa à média, média, alta e muito alta) a fim de auxiliar no seu gerenciamento costeiro. Para tanto, foram utilizados como base mapas temáticos de geologia, solos, declividade, uso/ocupação do solo e cobertura vegetal, que foram rasterizados e posteriormente reclassificados no *software ArcMap 10* em categorias hierárquicas de índices de vulnerabilidade para cada unidade mapeada, utilizando-se valores empíricos de “1” (menos vulnerável) à “5” (mais vulnerável). A partir da análise do mapa de vulnerabilidade ambiental, foi possível observar na área de estudo o predomínio da classe de alta vulnerabilidade na região, correspondendo à 36,71% da área estudada, caracterizada principalmente pela interação da classe de uso do solo *Área urbana* com a unidade litológica de sedimentos Pós-barreiras e significativa representatividade da classe de vulnerabilidade muito alta, associada ao estabelecimento da classe de uso do solo *Área urbana*, em unidades litológicas de sedimentos recentes, que compreendem a planície de inundação do rio Guamá, e em regiões com classes de declividades superiores à 6%, ambas com ausência de cobertura vegetal, compreendendo 21,27% da área de estudo. O processo de ocupação urbana nas áreas de vulnerabilidade ambiental muito alta, localizadas nas proximidades das margens das sub-bacias da Tamandaré, Estrada Nova e Tucunduba, ocorreu de forma irregular, principalmente na orla da sub-bacia da Estrada Nova, com o estabelecimento de estruturas artificiais, para uso habitacional, atividades comerciais e de serviços, em classes de declividades inferiores à 2%, correspondendo à terrenos quase planos, onde o escoamento superficial é lento, ocasionando problemas ambientais relativos à alagamentos e inundações nesta região, enquanto que na orla da sub-bacia do Tucunduba, a fragilidade decorrente da associação dos aspectos ambientais levados em consideração neste trabalho, mostra seus efeitos com o processo de erosão do solo.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto-Belém (PA). Zona costeira estuarina. Uso do solo.

ABSTRACT

The study of environmental vulnerability is an important scientific topic for environmental analysis of coastal zone, providing information about the stability of the ground, as regards to their behavior towards the morphogenesis and pedogenesis process and their interrelations with the pressures of human use and occupation. In view of this, the present work deals about the mapping of environmental vulnerability in areas that include the sub-basins on the southern shore of the city of Belém-PA (Tamandaré, Estrada Nova, Tucunduba and Murucutu), identifying areas of greatest environmental fragility and subdividing them into vulnerability classes (low, low average, average, high and very high) to assist in its coastal management. For this, was used with base thematic maps of geology, soil, terrain slope, and land use and cover, that was rastered and reclassified in the *software ArcMap 10* into hierarchies categories of vulnerability index for each unit mapped, using empirical values of “1” (less vulnerable) to “5” (more vulnerable). From de analysis of environmental vulnerability map, it was observed in the study area the predominance of the class of high vulnerability in the region, corresponding to 36,71% of the study area, characterized mainly by the interaction of the *Urban area* land use class, in lithologic units of Pós-barreira sediments and great representation of the class of very high vulnerability, associated with the establishment of the *Urban area* land use class, in lithologic units of recent sediments, that include the floodplain of Guamá river, and, in regions with classes of terrain slope higher than 6%, both without vegetable coverage, including 21,27% of the study area. The process of urban occupation in areas with very high environmental vulnerability, located near the margins of sub-basins of Tamandaré, Estrada Nova e Tucunduba, happened irregularly, mainly on the shore of Estrada nova sub-basins, with the establishment of artificial structures for residential use, commercial and services activities, in classes of terrain slope lower than 2%, corresponding to the almost flat land, where the runoff is slow, causing environmental problems relating to flood and flooding in this region, while in the edge of the Tucunduba sub-basin, the fragility due the association of environmental aspects considered in this work, show your effects with the soil erosion process.

Key-words: Remote sensing – Belém (PA). Estuarine coastal zone. Land use.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa da área de estudo.....	19
Quadro 1 - Coluna estratigrafica esquemática para a região de Belém e adjacências.....	20
Figura 2 - Carta Batimétrica da foz do rio Guamá.	24
Figura 3 - Distribuição da precipitação mensal e número de dias chuvosos em Belém do Pará para o ano de 2011.....	28
Figura 4 - Fluxograma com etapas de (A) pré-processamento e processamento dos dados, (B) síntese de mapas para produção do mapa de vulnerabilidade.	30
Figura 5 - Mapa de uso/ ocupação do solo e cobertura vegetal.....	40
Figura 6 - Planície de maré lamosa vegetada colonizada por a) aningas (Montricária arborescens Schot e b) gramíneas.....	41
Figura 7 - Fotografia aérea evidenciando a presença da planície de maré lamosa não vegetada (seta vermelha) e planície de maré lamosa vegetada (seta laranja).	41
Figura 8 - Mapa das classes de declividade presentes na área de estudo.....	44
Figura 9 - Mapa de solos da área de estudo.	45
Figura 10 - Mapa geológico da área de estudo.....	47
Figura 11 - Mapa de vulnerabilidade ambiental da área de estudo.	49
Gráfico 1 - Gráfico quantificando os tipos de ocupações presentes na orla da sub-bacia da Tamandaré.....	51
Figura 12 - Complexo Feliz Lusitânia, ponto turístico da cidade de Belém.	51
Figura 13 - Estabelecimentos com atividades comerciais e portuárias.....	51
Figura 14 - Residências em palafita, com ausência de saneamento básico.....	52
Figura 15 - Estabelecimento desativado sobre planície de maré lamosa vegetada, com presença de entulhos de embarcações nas adjacências.	52

Figura 16 - Área de depósito de lixo.....	52
Figura 17 - Posto de combustível flutuante.....	52
Gráfico 2 - Gráfico quantificando os tipos de ocupações presentes na orla da sub-bacia da Estrada Nova.....	54
Figura 18 - Concentração de ocupações irregulares para uso habitacional.....	54
Figura 20 - Porto da Palha, terminal hidroviário com transporte de passageiros e produtos...	56
Figura 21 - Hotel Beira rio e restaurante à frente.	56
Figura 22 - Clube náutico, Marina B&B.....	56
Figura 19 - Área de estâncias, armazenagem de materiais de construção.	56
Figura 23 - Início das obras do projeto Portal da Amazônia.	57
Figura 24 - Conjunto habitacional do projeto Portal da Amazônia	57
Figura 25 - CONTENÇÃO em gabião do tipo caixa.	59
Figura 26 - Ponto de erosão com 33,5 metros de extensão	59
Figura 27 - Ponto de erosão com 110 metros de extensão, com deposição de lixo.....	59
Figura 28 - Desenvolvimento de vegetação recente próxima à margem, caracterizando início de deposição sedimentar.	60
Figura 29 - Muro de arrimo diagonal a margem, em boas condições.....	60
Figura 30 - Muro de arrimo vertical tombado.	60
Figura 31 - Medidas paliativas de contenção, sacas de areia e cimento.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estação Belém (Série climatológica – 1961-1990).....	27
Tabela 2 - Características da imagem IKONOS.....	29
Tabela 3 - Dados do sensor SRTM.....	30
Tabela 4 - Árvore de processos elaborada para a classificação de uso do uso.....	31
Tabela 5 - Índice Kappa e o correspondente desempenho da classificação	32
Tabela 6 - Variáveis e critérios adotados.	34
Tabela 7 - Classes de vulnerabilidade.....	35
Tabela 8 - Grau de vulnerabilidade das classes dos mapas temáticos	36
Tabela 9 - Índice Kappa gerado a partir da classificação orientada a objetos.....	42
Tabela 10 - Classes de vulnerabilidades e sua abrangência na área de estudo.....	49
Tabela 11- Postos de combustíveis, compreendendo possíveis áreas de poluição pontual de derivados de petróleo e suas respectivas coordenadas.....	554

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CELPA – Centrais Elétricas do Pará.

CODEM – Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém.

GPS – Global Positioning System.

LAIT – Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido.

MDE – Modelo Digital de Elevação.

MNT – Modelo Numérico de Terreno.

UFPA – Universidade Federal do Pará.

RMB – Região Metropolitana de Belém.

SRTM – Shuttle Radar Topography.

USGS – United States Geological Survey.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVOS	17
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos	17
1.2 JUSTIFICATIVA	17
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
2.1 LOCALIZAÇÃO	18
2.3 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO	20
2.3.1. Geologia	19
2.3.2 Geomorfologia	22
2.3.3 Batimetria da Foz do Rio Guamá e Adjacências	23
2.3.4 Vegetação	25
2.4 PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS	26
2.4.1 Marés	26
2.4.2 Correntes	26
2.5 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	29
3.1 MATERIAIS	29
3.1.1 IKONOS II	29
3.1.2 SRTM	29
3.2. MÉTODOS	30
3.2.1 Pré-processamento e processamento da imagem IKONOS	30
3.2.1.1 Recorte	30
3.2.1.2 Classificação orientada a objeto	
3.2.1.2.1 <i>Avaliação da Classificação</i>	30

3.2.2	Processamento do SRTM	32
3.2.2.1	Declividade	32
3.2.3	Trabalho de Campo	33
3.2.4	Crêterios utilizados para estabelecer as classes de vulnerabilidade nas sub-bacias estudadas	34
3.2.4.1	Integração e análise de dados	34
3.2.5	Vulnerabilidade ambiental	34
4	RESULTADOS	39
4.1	VULNERABILIDADE NATURAL E AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO	39
4.1.1	Mapas temáticos	39
4.1.1.1	Uso e ocupação do solo e cobertura vegetal	39
4.1.1.1.1	<i>�ndice Kappa</i>	42
4.1.1.2	Declividade	43
4.1.1.3	Vulnerabilidade para o tema solos	44
4.1.1.4	Vulnerabilidade para o tema geologia	46
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA OCUPAÇÃO NA ORLA DAS REGIÕES MAIS VULNERÁVEIS DA MARGEM SUL DA CIDADE DE BELÉM/PA.	50
4.2.1	Sub-bacia da Tamandaré	50
4.2.2	Sub-bacia da Estrada Nova	53
4.2.3	Sub-bacia do Tucunduba	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	61
	REFERÊNCIAS	63
	ANEXO	68
	ANEXO A - MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL	69

1 INTRODUÇÃO

A ocupação das zonas costeiras no mundo e o conseqüente efeito sobre o equilíbrio dos ecossistemas têm sido estudados desde os anos 70 com a declaração de Estocolmo (COSTA, et. al. 2006; TRICART, 1977). A Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano, conhecida como Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, na Suécia, foi a primeira Conferência global voltada para o meio ambiente, e como tal é considerada um marco histórico político internacional, decisivo para o surgimento de políticas de gerenciamento ambiental, direcionando a atenção das nações para as questões ambientais (PASSOS, 2009). A partir dessa preocupação, o desenvolvimento de vários estudos no mundo sobre impactos ambientais vêm sendo realizados com o propósito de avaliar e proteger regiões com maior sensibilidade às modificações naturais e antrópicas (COSTA, et. al. op. cit.).

Um tópico científico importante para a análise ambiental de zonas costeiras, contribuindo para avaliação das condições restritivas do meio físico, em diversas áreas do ordenamento territorial é o estudo da vulnerabilidade ambiental. No Brasil, Crepani et al. (1996, 2001), Souza (1999), Ribeiro e Campos (2007), Tagliani (2002), Carvalho et al. (2003), Costa et al. (op. cit.) e Nascimento e Dominguez (2009), estudaram a vulnerabilidade natural à erosão, através da utilização de índices que avaliassem as condições das áreas estudadas a partir da conjugação de várias informações sobre a mesma área (geologia, geomorfologia, declividade, vegetação, uso e ocupação do solo, etc.). Tagliani (op. cit.) usou a vulnerabilidade ambiental para representar a maior ou menor susceptibilidade a que um ambiente pode estar submetido a um impacto potencial, mediante o seu uso, na planície costeira do estado do Rio Grande do Sul. A partir destes estudos utilizaremos a vulnerabilidade ambiental para analisar as sub-bacias da Região Metropolitana de Belém (RMB).

A palavra “vulnerável” deriva do latim antigo *Vulnerabilis*, corresponde ao ponto mais fraco ou que passa a ser mais vulnerável, mais acessível aos ataques naturais ou artificiais (SÉGUIER, 1935). A vulnerabilidade está sempre relacionada à maior ou menor fragilidade de um determinado ambiente (NASCIMENTO e DOMINGUEZ, op. cit.).

De acordo com Adger (2006), as definições de vulnerabilidade, usualmente, se atrelam aos seguintes fatores: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa ou de resposta de um sistema, e, o estudo desses fatores permite a avaliação da maior ou menor vulnerabilidade do sistema a determinadas questões ambientais. Quanto à exposição, pode-se entender o grau,

duração ou extensão em que o sistema está em contato com perturbações. A sensibilidade está relacionada à extensão ou ao grau em que o sistema pode absorver as pressões sem sofrer alterações à longo prazo. E, a capacidade adaptativa consiste na habilidade do sistema de se ajustar a um dano ocorrido. Nesse contexto, um sistema é mais vulnerável quanto maiores as pressões, maior a sensibilidade do meio e menor a sua capacidade adaptativa (FIGUEIRÊDO, et. al. 2010).

A área estudada pertence ao Município de Belém, capital do Estado do Pará, região norte do Brasil, possui 14 sub-bacias hidrográficas, dentre as quais, no presente estudo, destacam-se as sub-bacias da Tamandaré, Estrada Nova, Tucunduba e Murucutu, constituindo a orla sul da cidade de Belém, em contato direto com o rio Guamá, ou como é o caso da bacia da Tamandaré, marcando a intersecção entre o rio Guamá e a Baía do Guajará. Ressaltando-se que, o rio Guamá juntamente com os lagos Bolonha e Água Preta fazem parte do Complexo Hídrico do Utinga, manancial responsável pelo abastecimento de água da cidade. Esta região da orla caracteriza-se pela maior interação da cidade com o rio, apresentando um forte caráter ribeirinho, principalmente, nas feiras, portos e trapiches que resistem ao longo do rio Guamá (SILVA; MALHEIRO; RIBEIRO, 2005).

De acordo com Ponte (2004) a orla fluvial de Belém/PA possuiu diversas formas de uso ao longo do tempo. Estas formas incluíram desde o aproveitamento econômico (indústria, serviços, comércio) até a instalação de estruturas do Estado e do poder público em geral. Isto se deve a importância da localização da cidade às margens do rio Guamá e da Baía do Guajará e à forma como o desenvolvimento do núcleo urbano foi se valendo das possibilidades destes recursos naturais.

Este trabalho teve a finalidade de integrar as informações obtidas através de tecnologias como o sensoriamento remoto a partir de imagens de alta resolução espacial (IKONOS) para produção do mapa de uso e ocupação do solo, imagens de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) gerando o mapa de declividade e, finalmente, base de dados já disponíveis do mapa geológico, confeccionado no trabalho de Costa (2001), e, de solos, confeccionado no trabalho de Matta (2002), voltados para estudos de cunho ambiental, que auxiliassem na análise da vulnerabilidade da área estudada, gerando como produto um mapa que indicasse dentro das sub-bacias estudadas, quais áreas são as mais vulneráveis ambientalmente permitindo o planejamento adequado para áreas de risco ambiental.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 **Objetivo geral**

Gerar um mapa de vulnerabilidade ambiental para a orla sul da cidade de Belém-PA (abrangendo as sub-bacias da Tamandaré, Estrada Nova, Tucunduba e Murucutu), a fim de identificar áreas de maior vulnerabilidade ambiental e seus possíveis tensores.

1.1.2 **Objetivos específicos**

- Identificar as zonas de maior vulnerabilidade ambiental nas áreas que compreendem as sub-bacias de influência direta na orla sul da cidade de Belém-PA, subdividindo-as em classes de vulnerabilidade ambiental.
- Confeccionar um mapa temático de vulnerabilidade ambiental.
- Realizar uma caracterização da ocupação ao longo das orlas das sub-bacias que apresentaram elevada vulnerabilidade.

1.2 JUSTIFICATIVA

A orla sul da cidade de Belém/PA abriga uma série de problemáticas de cunho sócio-ambiental desde a sua fundação e que vêm se perpetuando até os dias atuais, merecendo especial atenção a ocupação desordenada das margens dos seus cursos d'água, nas suas respectivas faixas de proteção, acarretando na perda da mata ciliar e de áreas que se constituem na planície de inundação do rio Guamá, conferindo maior vulnerabilidade a um ambiente que já é naturalmente frágil.

A representação da vulnerabilidade ambiental cartograficamente, em escalas maiores, consiste em um importante instrumento no auxílio da tomada de decisões por parte de órgãos governamentais e/ou privados, fornecendo informações a respeito do comportamento do terreno, e suas respostas aos processos de uso atuais, representando as áreas de maior fragilidade, sua capacidade adaptativa e potencialidades nas mesmas.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

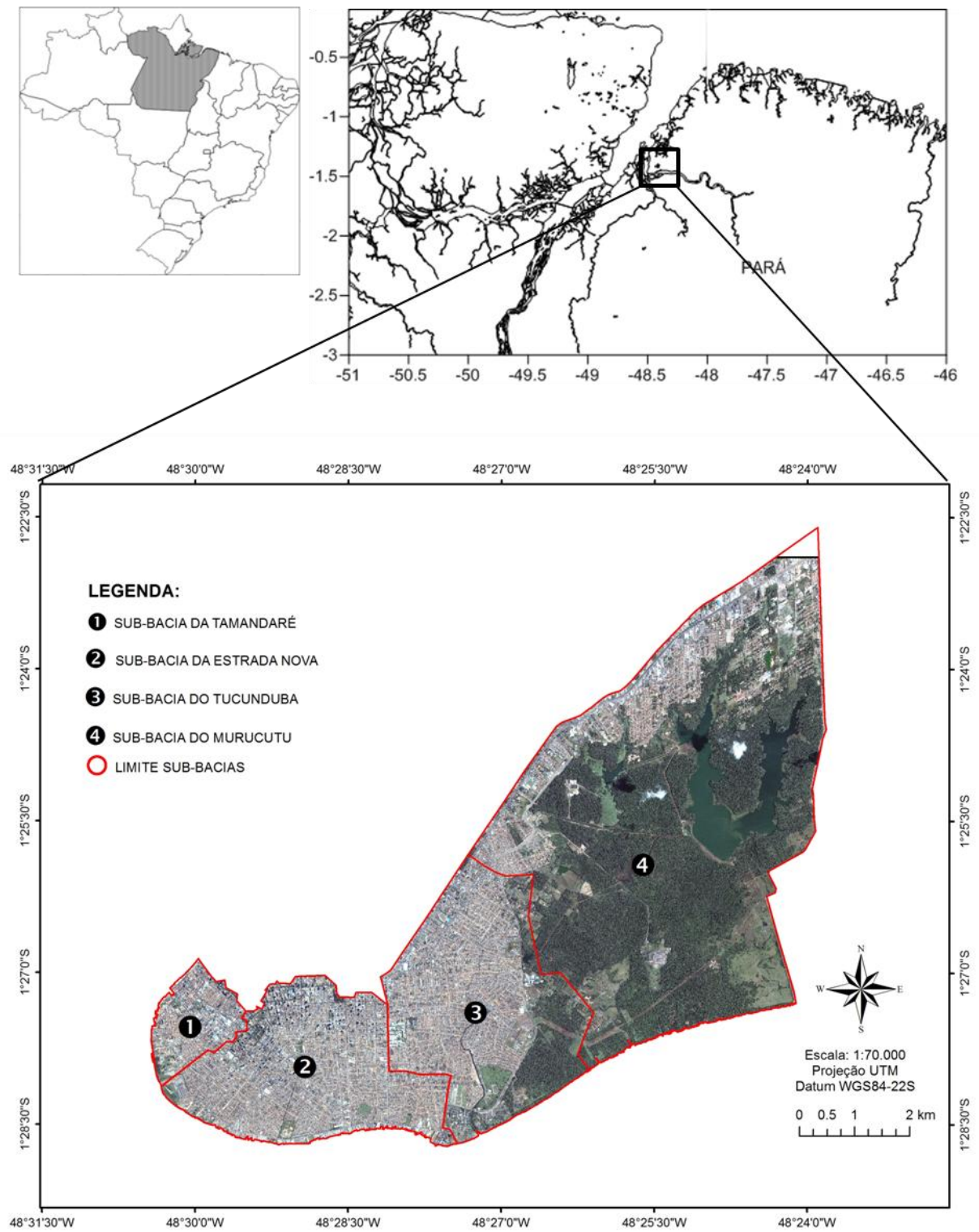
2.1 LOCALIZAÇÃO

A cidade de Belém, capital do Estado do Pará, é margeada por dois representativos cursos d'água, Baía do Guajará a oeste, recebendo as águas dos rios Guamá, Acará e Moju, e, rio Guamá ao sul. Está inserida no setor continental estuarino da zona costeira do Estado do Pará, segundo a divisão proposta por El-Robrini et. al. (2006).

A rede hidrográfica da Região Metropolitana de Belém pode ser separada em dois grupos de bacias: as que sofrem influência do rio Guamá e as que sofrem influência da Baía do Guajará (MATTA, 2002).

A área de estudo está situada ao sul da cidade de Belém, adjacente ao rio Guamá e a nordeste do Estado do Pará. Compreende as seguintes sub-bacias hidrográficas: Tamandaré, Estrada Nova, Tucunduba e Murucutu, ambas com influência na orla sul do município de Belém, com escoamento para o rio Guamá. Enquadra-se, aproximadamente, entre os paralelos 1°22'30''S/ 1°28'00''S e meridianos 48°23'30''W/ 48°30'30''W, englobando os bairros da Cidade Velha, Jurunas, Condor, Guamá, Universitário e Curió-Utinga.

Figura 1 - Mapa da área de estudo



Fonte: Limite das sub-bacias hidrográficas adaptado de (CODEM, 2008).

2.3 ASPECTOS FÍSIOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

De modo a compreender melhor a área de estudo, seguem descritas as principais características dos aspectos fisiográficos: geologia, geomorfologia, batimetria e vegetação da área estudada.

2.3.1 Geologia

Segundo Pinheiro (1987), pode-se adotar uma coluna estratigráfica esquemática para a geologia das margens estuarinas da região de Belém/PA, onde cerca de 100-120m da superfície encontram-se sedimentos de idade Oligo-Miocênica atribuídos a Formação Pirabas e, sobrepostos, em profundidades entre 100-150m encontram-se os sedimentos terciários correlacionáveis ao Grupo Barreiras, em seguida, já no Quaternário, estaria repousando uma unidade atribuída ao Pleistoceno/Holoceno Médio- Inferior, que poderia ser correlacionada aos sedimentos Pós-Barreiras, e, finalmente, no topo da seção, estariam os sedimentos Recentes.

Quadro 1 - Coluna estratigráfica esquemática para a região de Belém e adjacências

UNIDADE	PROF.	IDADE		DESCRIÇÃO SUCINTA
FORMAÇÃO BARREIRAS	0 à 40-50 m	Quaternário	10.000 a 4- 5.000 anos A. P. ao recente.	Argilas siltosas e areias quartzosas com matéria orgânica
			10.000 à 16.000 anos A. P.	Siltos, argilas, areias finas a médias com siltos, siltos argilosos com grânulos e blocos de arenito feruginoso.
			16.000 à 2.5 M. A.	
FORMAÇÃO BARREIRAS	0 à 100- 150 m	Terciário Superior		Siltos argilosos com níveis de arenito feruginoso, argila cinza clara, areias avermelhadas variadas e lateritas.
FORMAÇÃO PIRABAS	Entre 76 e 100 – 120 m.	Oligo-Mioceno		Areia argilosa cinza escura, grossa a muito grossa, sub-angular com grãos arredondados a subarredondados. Macro e microfósseis (foraminíferos), briozoários, moluscos, corais, fragmentos de ossos, etc.

Fonte: (PINHEIRO, op.cit.).

Para a área estudada, os autores Matta (2002) e Costa (2001) descreveram as unidades litoestratigráficas da seguinte maneira:

a) Grupo Barreiras:

Unidade lito-estratigráfica com baixa ocorrência na área de estudo, sendo representadas por sedimentos continentais argilosos, arenosos e conglomeráticos, de coloração amarela e alaranjada com níveis de arenito ferruginosos, pouco consolidados, estruturas sedimentares do tipo estratificações e conteúdo fóssilífero vegetal. Além de estruturas como microfraturas e microfalhas.

Ocorre na região RMB em afloramentos ou em profundidade logo abaixo dos sedimentos recentes, a qual irá depender da espessura destes, variando de alguns centímetros até 70m de profundidade, conforme Costa (op. cit.) atestou por sondagens de simples reconhecimento.

b) Sedimentos Pós-Barreiras:

Esta unidade, também chamada de Horizonte de Solo por Costa (op. cit.), cobre quase que a totalidade da área de estudo e é representada por sedimentos inconsolidados, predominantemente arenosos, que variam de creme-amarelados, amarelos a totalmente brancos, com alguma fração de argila, granulometria variando de fina a média e sem estrutura sedimentar aparente.

c) Sedimentos Recentes:

Também reconhecidos como sedimentos holocênicos, estão associados a depósitos de argilas, argilas siltosas e argilas arenosas orgânicas ou não, relacionados aos principais cursos d'água e intercalados, em vários locais, com níveis arenosos, na forma de camadas ou lentes.

2.3.2 Geomorfologia

Segundo Pará (1995) e Gonçalves (2005) é possível identificar três regiões geomorfológicas na Região Metropolitana de Belém: Região de Terra Firme, Região de Várzea e Região de Áreas Urbanas.

A região de Terra-firme corresponde às áreas de ocorrência do Pediplano Neo-pleistocênico, representado na área pela unidade geomorfológica do Planalto Rebaixado da Amazônia (GREGÓRIO, 2009). Esta unidade é esculpida em estruturas plio-pleistocênicas do Grupo Barreiras, em geral laterizadas, e em coberturas detríticas alúvio-colúviais neopleistocênica (GONÇALVES, op. cit.).

A região das várzeas é caracterizada por Pinheiro (1987) como terrenos holocênicos, encaixados nos platôs pleistocênicos (Terra firme), associados às planícies de inundação. Esta região tem sua dinâmica atrelada, em grande parte, às condições hidrodinâmicas do canal, as quais se relacionam diretamente com o comportamento das marés, sob cuja influência se processa a inundação periódica das margens dos cursos d'água que conformam a hidrografia regional (GONÇALVES, op. cit.)

A morfologia típica de várzea ou planície de inundação, adjacentes aos canais estuarinos, pode ser subdivida em várzea alta e várzea baixa (PINHEIRO, op. cit.). De acordo com Sioli (1951), as várzeas altas são locais atingidos pelas águas de marés somente durante as grandes enchentes, abrangendo extensas áreas das margens estuarinas, incluindo boa parte das “terras altas” da cidade de Belém e adjacências, enquanto, as várzeas baixas, constantemente alagadas pelas marés semi-diurnas, incluem as margens dos canais estuarinos e “braços” fluviais anexos, configurando uma topografia plana com depressões responsáveis pela desorganização e dificuldades no fluxo da drenagem, enquadrando-se também, os diques marginais de várzeas, antigos ou atuais, associados às planícies de inundação dos principais rios.

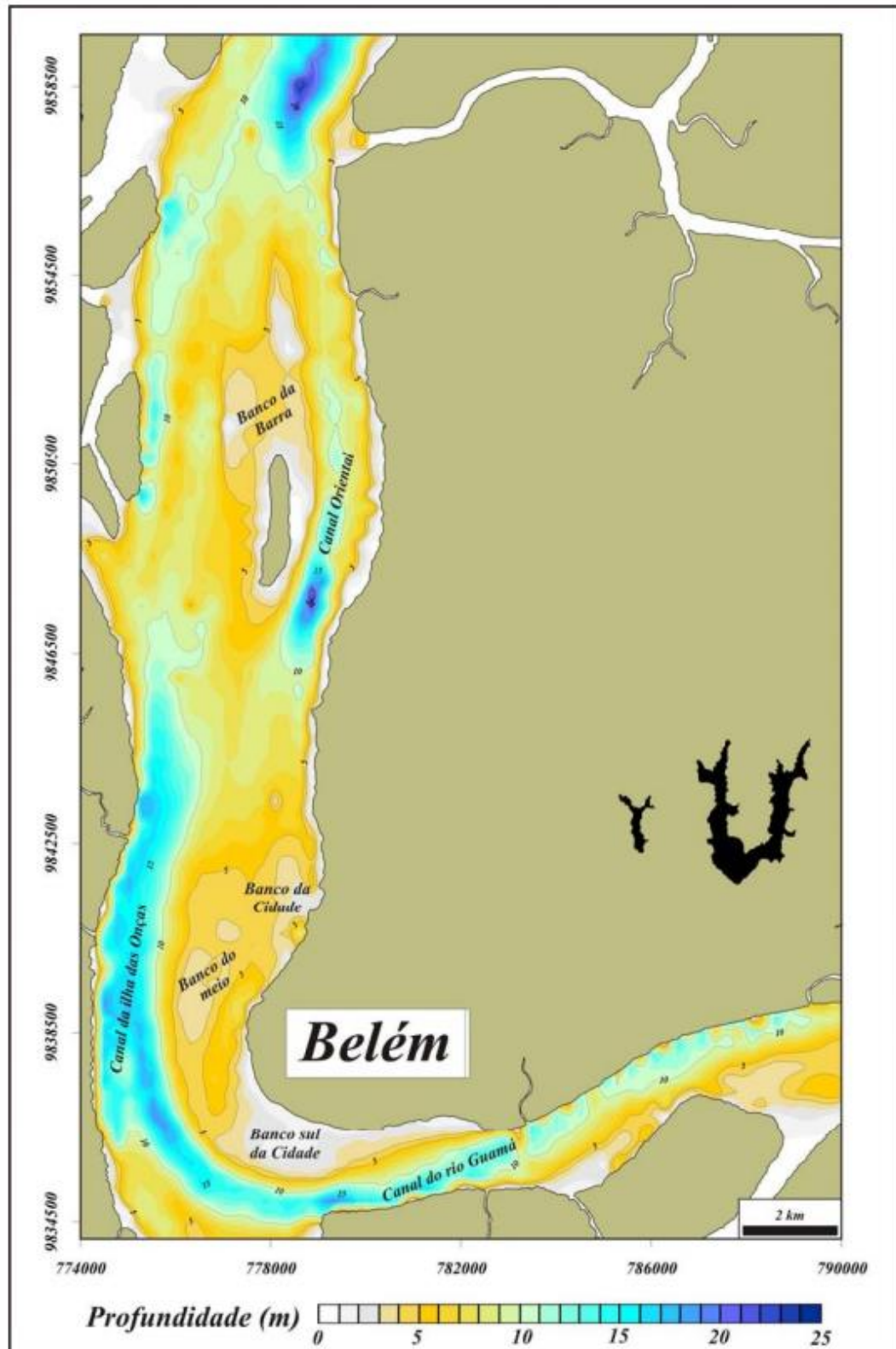
2.3.3 Batimetria da Foz do Rio Guamá e Adjacências

Na área de estudo, uma zona morfológica importante destacada por Pinheiro (1987) foi o “Alto Fundo da Baía”, contornando toda a borda leste da Baía do Guajará e adentrando no rio Guamá, definida a partir das isóbatas menores que 10 metros, na qual é possível a individualização de três feições morfológicas: i) Banco Sul da Cidade, ii) Banco do Meio e iii) Banco da Cidade.

O Banco Sul da Cidade contorna a orla sul de Belém, a partir da margem direita da foz do rio Guamá até o início da Baía do Guajará (Fig.2). Gregório (2008) descreve o Banco Sul da Cidade como uma extensa planície de maré lamosa, depositada na margem sul da cidade de Belém, podendo atingir profundidades de até 2 metros durante a baixa-mar e em alguns trechos encontra-se vegetada por várzeas. Esta unidade morfológica apresenta cerca de 5 km de comprimento por aproximadamente 1,5 km de largura na sua porção mais pronunciada, localizada ao lado direito da desembocadura do rio Guamá (GREGÓRIO, 2009). Este depósito sedimentar é formado por conta da dissipação da energia das correntes de maré, quando as correntes de enchente se chocam com as correntes de vazante residuais, ocasionando a deposição de sedimentos transportados dos pelos rios Guamá e Acará (PINHEIRO, op. cit.; GREGÓRIO, 2008.).

Outra província geomorfológica importante na área de estudo destacada por Gregório (2009) é o canal do rio Guamá, com direção NE-SW, largura média de aproximadamente 600 metros e profundidade média 13 metros, podendo atingir 18 metros de profundidade na sua foz, próximo à ilha do Cumbú, setor este denominado por Silveira (1989) como “Depressão da Ponta de Porto Alegre”.

Figura 2 - Carta Batimétrica da foz do rio Guamá.



Fonte: (GREGÓRIO, 2008).

2.3.4 Vegetação

A vegetação da margem fluvio-estuarina das sub-bacias abordadas neste estudo é condicionada aos fatores geomorfológicos, podendo-se distinguir a ocorrência de três províncias dominantes segundo Pinheiro (1987): i) vegetação de várzea, típica de áreas inundáveis, sob controle periódico das marés, ii) vegetação de floresta densa associados aos terrenos mais elevados ditos de terra firme e iii) florestas secundárias associadas às áreas desmatadas, ocupando uma apreciável distribuição na região.

Nas várzeas muito baixas, associadas a áreas de sedimentação recente na região, predominam espécies ditas pioneiras, que de acordo com Lima (1956), marcadas pela presença quase que absoluta da aninga (*Montrichardia arborescens schott*), ocasionalmente podem ocorrer ainda o mururé (*Eichhornia azurea kunth*), a canaraná (*Panicum elephantipes nees*) e outros menos freqüentes. A implantação deste tipo de vegetação favorece o contínuo aporte de sedimentos proveniente das águas estuarinas, ricas em sedimentos em suspensão, e a aceleração progressiva das taxas de sedimentação, fazendo com que os sedimentos anteriormente depositados se tornem cada vez mais consolidados, e em decorrência disto o nível topográfico tende a se elevar, condicionando a implantação de novos tipos vegetacionais (PINHEIRO, op. cit.).

Nos terrenos mais elevados, degradando desde a várzea alta até a “terra-firme”, ocorrem as florestas densas, caracterizadas por uma maior diversidade de espécies, principalmente, com a predominância das dicotiledôneas (LIMA, op. cit.).

A Região das várzeas onde a vegetação primária foi destruída, dando origem à vegetação secundária constituiu-se em um importante aspecto a ser considerado. Tendo em vista que se encontra em amplo desenvolvimento na região, especialmente nas adjacências dos sítios urbanos, conforme elucidado por Gonçalves (2005).

2.4 PARÂMETROS OCEANOGRÁFICOS

2.4.1 Marés

Na região metropolitana de Belém a altura de maré atinge 3,6 m em condições de sizígia, o estágio de vazante tem maior duração que o de enchente e a salinidade é muito baixa, apenas em condições excepcionais (de estiagem prolongada) a área é afetada pela penetração das águas mais salinas, originárias de uma mistura de águas fluviais e oceânicas (GREGÓRIO, 2009). Em condições normais a maré salina não penetra no rio Guamá, no entanto, os efeitos da maré dinâmica se faz sentir muito a montante da área de estudo (MACHADO, 1986).

A propagação da onda de maré (maré dinâmica) mostra-se influenciada pela altimetria e fortemente regulada pela sazonalidade da descarga fluvial, esta por sua vez pela precipitação. Mesmo com gradual atenuação continente adentro, a ação da maré ao longo do rio Guamá pode alcançar cerca de 230 quilômetros da Baía do Guajará, onde conceitualmente se definiu como Zona Limite da Maré (FREITAS, 2011).

No rio Guamá, as marés estão sujeitas à influência fluvial, com predomínio das correntes de vazante, processo esse intensificado durante as marés de sizígia, e, nas enchentes das marés de quadratura, quando o volume das águas de marés é reduzido, o fluxo fluvial parece ser responsável pelas oscilações sofridas pelas velocidades de correntes (GONÇALVES, 2005).

2.4.2 Correntes

Em medições realizadas por Pinheiro (1987), as correntes atuantes no rio Guamá alcançaram valores máximos absolutos nas enchentes, intensificadas durante as marés de sizígia, onde atingiu o máximo de 1,85 m/s, nos períodos de vazante, as velocidades máximas de correntes atingiram entre 1,5 m/s e 1,72 m/s e as médias das velocidades máximas situaram-se entre 1,04 m/s e 1,60 m/s, sendo sempre maiores nas enchentes do que nas vazantes.

De acordo com Machado (1986), a influência de correntes de maré no rio Guamá é a principal agente responsável pela erosão dos leitos e das margens transportando uma considerável carga sedimentar. Freitas (op. cit.) também observou maiores vazões e velocidades instantâneas de correntes na enchente.

2.5 PARÂMETROS METEOROLÓGICOS

A precipitação é amplamente reconhecida por muitos autores como o elemento meteorológico de maior preponderância na região tropical (MORAES, et. al. 2005). Tendo em vista que a temperatura e a pressão atmosférica não possuem variações marcantes para mostrar mudanças sazonais (MATTA, 2002). Destaca-se o fato de a região não apresentar meses secos bem definidos, além de não existir uma repartição muito uniforme das chuvas durante os anos (SUDAM, 1984).

No município de Belém, a precipitação apresenta valores médios anuais de 2.892,7mm, segundo séries climatológicas do período de 1961-1990, representativa de 30 anos (INMET, 1998).

Analizando a normal climatológica de 1961-1990 (Tabela1), pode-se observar maiores valores médios de pluviosidade para os meses de dezembro à maio, atingindo o seu máximo em março (436,2mm) e menores valores de junho à novembro, caracterizando os períodos “chuvoso” e “menos chuvoso” respectivamente.

Tabela 1 - Estação Belém (Série climatológica – 1961-1990)

MESES	Temperatura média (°C)	Temperatura Máxima Média (°C)	Temperatura Mínima Média (°C)	Precipitação (mm)	Máx. Prec. em 24Hs (mm)	Pressão Atm. Média. NVL da Est. (HPA)	Umidade Relativa do ar (%)
JAN	25,6	30,9	22,1	366,5	118,1	1009,5	86,0
FEV	25,5	30,5	22,2	417,5	117,4	1009,7	91,0
MAR	25,5	30,4	22,4	436,2	136,9	1009,8	91,0
ABR	25,7	30,8	21,8	360,0	112,8	1009,8	91,0
MAI	25,9	31,3	22,6	304,0	103,5	1010,3	88,0
JUN	25,9	31,7	22,1	140,2	85,4	1011,2	86,0
JUL	25,8	31,7	21,7	152,1	111,0	1011,6	85,0
AGO	26,0	32,1	21,7	131,1	80,4	1011,1	84,0
SET	26,1	32,1	21,7	140,8	67,4	1010,7	84,0
OUT	26,4	32,2	21,6	116,1	65,4	1009,9	83,0
NOV	26,4	32,3	21,9	111,8	68,4	1009,2	83,0
DEZ	26,1	31,9	22,0	216,4	121,4	1009,3	86,0
MÉDIA ANUAL	25,9	31,4	21,9	2892,7	***	1010,2	86,5

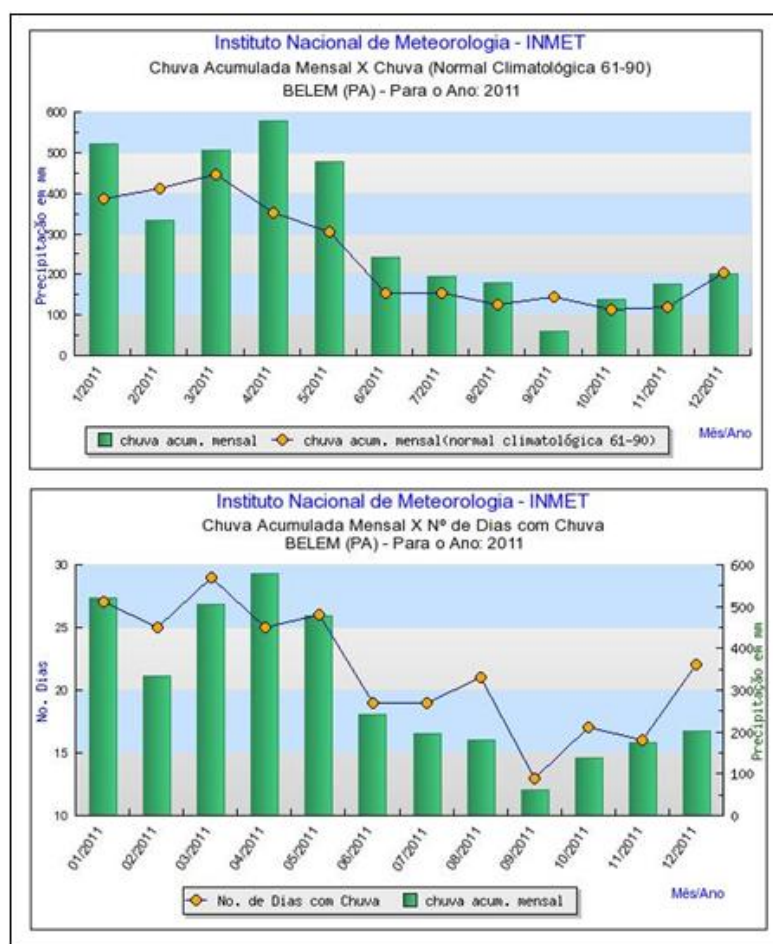
Normal climatologia (1961-1990)

Estação: Belém Lat. 01° 27'S e Long. 48° 25W. Alt.10,9m.

Fonte: Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura (Modificado de Matta, 2002.)

Para o ano de 2011, o maior valor de chuva acumulada ocorreu no mês de abril, com aproximadamente 550 mm de precipitação e 25 dias chuvosos, enquanto o menor valor de precipitação mensal se deu no mês de setembro, mês este que também apresentou menor número de dias chuvosos, conforme pode ser observado na Figura 3, corroborando com a hipótese de Penteado (1968), que atribui o contraste decorrente dos diferentes índices pluviométricos, relativos aos períodos “chuvosos” e “menos chuvosos” ao fato de que no primeiro a média de dias chuvosos é consideravelmente maior que a média de dias chuvosos do segundo.

Figura 3 - Distribuição da precipitação mensal e número de dias chuvosos em Belém do Pará para o ano de 2011.



Fonte: (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, 2012)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

No presente trabalho, foram utilizadas imagens IKONOS II do ano de 2007 do acervo de dados do Laboratório de Análise de Imagens do Trópico Úmido (LAIT) e imagens do modelo digital de elevação do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponibilizadas gratuitamente pelo *United States Geological Survey* (USGS). Também foram utilizados dados de geologia e solos gerados pelos professores Dr. Tony Carlos Dias da Costa em sua tese em 2001 e Dr. Milton Matta, em sua tese em 2002 respectivamente, na forma de *shapefiles*. As imagens foram classificadas no *software Definiens E-Cognition 8* e os mapas foram gerados e sintetizados no *software ArcMap 10*.

3.1.1 IKONOS II

O satélite IKONOS II foi lançado no dia 24 de setembro de 1999 e opera desde o início de janeiro de 2000. Inicialmente utilizado para fins militares, o IKONOS II é o primeiro satélite de observação da Terra a fornecer imagens de alta resolução para uso comercial e, além das aplicações comerciais, possui uma ampla aplicabilidade em trabalhos científicos que necessitam de dados e informações detalhadas da superfície terrestre (ENGESAT, 2011). A tabela 2 apresenta algumas das características das imagens geradas por este satélite.

Tabela 2 - Características da imagem IKONOS

SATÉLITE	SENSOR	BANDAS	RESOLUÇÃO ESPECTRAL (μm)	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)	RESOLUÇÃO TEMPORAL	RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA
IKONOS II	(MS) Multispectral	Azul	0,45 a 0,52	1	1,5 dia	11 bits por pixel
		Verde	0,52 a 0,60			
		Vermelho	0,63 a 0,69			

Fonte: GeoEye (2011).

3.1.2 SRTM

O *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) consistiu em um sistema de radar especialmente modificado que voou a bordo do ônibus espacial Endeavour durante uma missão de 11 dias em 11 de fevereiro de 2000 e obteve dados de elevação quase globais para gerar o mais completo banco de dados topográficos digitais de alta resolução da Terra (FARR, 2000). A tabela 3 apresenta algumas das características do SRTM.

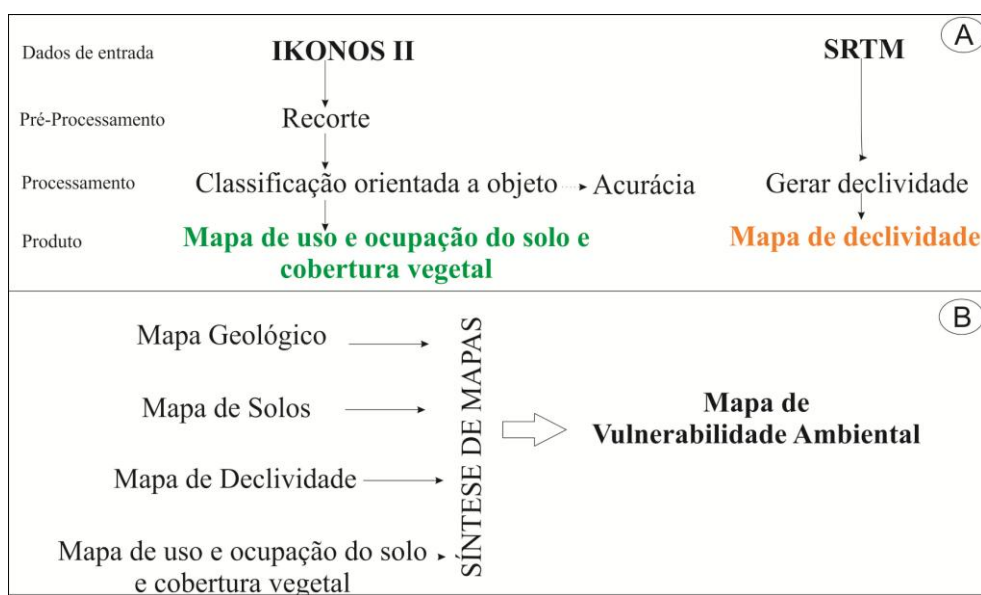
Tabela 3 - Dados do sensor SRTM

SENSOR	TIPO	PLATAFORMA	COMPRIMENTO DAS BANDAS	RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA	RESOLUÇÃO VERTICAL	FAIXA DE IMAGEAMENTO
SRTM	SAR	Aeronave	C (5,6 a 7,5cm)	16 Bits	90 m	185 km

3.2. MÉTODOS

Para a confecção deste trabalho seguiu-se as etapas de: Pré-processamento e classificação orientada a objeto da imagem IKONOS, construção do mapa de declividade a partir do modelo digital de elevação do SRTM, trabalho de campo e síntese e geração dos mapas para confecção dos índices de vulnerabilidade das sub-bacias estudadas. O fluxograma e a metodologia utilizada segue descrita abaixo:

Figura 4 - Fluxograma com etapas de (A) pré-processamento e processamento dos dados, (B) síntese de mapas para produção do mapa de vulnerabilidade.



3.2.1 Pré-processamento e processamento da imagem IKONOS

3.2.1.1 Recorte

A imagem IKONOS II da área metropolitana de Belém, adquirida do banco de dados do Laboratório de Análises de Imagens do Trópico Úmido- LAIT, estava corrigida geometricamente, sendo apenas necessário o recorte a partir do *shapefile* cedido por Lisboa (2008) e confeccionado pela CODEM (Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém), seguindo o limite das quatro sub-bacias estudadas, para tanto, foi utilizado *software ArcMap 10* através da ferramenta *Extract by mask*.

3.2.1.2 Classificação orientada a objeto

No processo de classificação foi utilizada a análise orientada a objetos, que se baseia nos objetos ou segmentos da imagem e não nos pixels individualizados. Na imagem um objeto representa uma identidade que pode ser individualizada por seus atributos e propriedades da classe que lhe deu origem (DEFINIENS, 2006). A segmentação foi feita a partir da utilização do algoritmo *multiresolution segmentation*, do software *Definiens E-Cognition 8.0*, construída na janela da árvore de processos (Tab. 4), acompanhado de um processo de edição manual em função da resposta espectral semelhante de alguns objetos, por meio dos quais foram geradas nove classes.

Por fim, as classes geradas foram exportadas na extensão *shapefile* para o software *ArcMap 10* para posterior rasterização e síntese de mapas.

Tabela 4 - Árvore de processos elaborada para a classificação de uso do uso.

PROCESSO	PROCESSO FILHO	ALGORITMO OPERADOR	OPERADOR	FUNÇÃO/ CONDIÇÃO	INTERVALO
1. SEGMENTAÇÃO		Multiresolution segmentation	And(min)		
2. CLASSIFICAÇÃO	Classificar classe Água	execute child processes	And(min)	mean B2 	110-255
	Classificar classe Área urbana	execute child processes	And(min)	mean B1 	128-255
	Classificar classe Lago	execute child processes	And(min)	standart deviation B1 	0-9
	Classificar classe Vegetação de várzea	execute child processes	And(min)	not água	
3. AGRUPAR	Agrupar segmentos de cada uma das nove classes	Merge region	And(min)		
4. AGRUPAR (FINAL)	Merge nas classes	Merge region	And(min)		
5. EXPORT	Exportar classes	Export shapefile		Todas as classes	

3.2.1.2.1 Avaliação da Classificação

A avaliação da exatidão temática é um passo fundamental no processo de análise dos dados do sensoriamento remoto. Atualmente, o método padrão para a avaliação da exatidão temática tem sido os índices derivados da matriz de confusão, que fornece a base para descrever a exatidão da classificação e caracterizar os erros, ajudando a refinar a classificação (FOODY, 2002).

A análise do índice kappa é 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 (FIGUEIREDO, 2007). Segundo Colgalton (1991) o uso do coeficiente kappa é satisfatório na avaliação da exatidão de uma classificação temática, pelo fato de levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo. Segue abaixo (Tab. 5) níveis de desempenho da classificação de acordo com o índice kappa obtido, normalmente aceitos pela comunidade científica.

Tabela 5 - Índice Kappa e o correspondente desempenho da classificação

Índice Kappa	Desempenho
< 0	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k < 1,0$	Excelente

Fonte: Fonseca (2000).

3.2.2 Processamento do SRTM

3.2.2.1 Declividade

A declividade pode ser entendida como a inclinação do relevo em relação ao plano horizontal, guardando estreita relação com o escoamento superficial. Quanto maior a declividade mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, e maior é a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte, responsáveis pela erosão que esculpe as formas de relevo, favorecendo processos de

morfogênese (CREPANI, 2001). Portanto, constituindo-se no principal índice morfométrico utilizado na avaliação da vulnerabilidade (NASCIMENTO e DOMINGUEZ, 2009).

A declividade foi gerada através do *software SPRING 5. 1. 4.*, a partir de um MDE (Modelo Digital de Elevação) de altimetria do SRTM, utilizando um modelo digital de grade regular, com 30m de resolução. O cálculo do gradiente de declividade, em porcentagem, se dá através da eq. (1):

$$D = \Delta V / \Delta H * 100 \quad (1)$$

Onde:

ΔV = eqüidistância das curvas de nível

ΔH = distância horizontal das curvas de nível.

No Sistema SPRING, esse procedimento é realizado automaticamente, tendo com dados de entrada, os valores de altimetria, no caso em estudo, Missão do SRTM. Os valores de declividade são estruturados sob a forma de uma grade regular com a mesma resolução do dado de entrada. Posteriormente, os valores são agrupados em intervalos de classe através de uma operação de fatiamento, que transforma um MNT (Modelo Numérico de Terreno) em um dado geográfico Temático (FELGUEIRAS, 2006).

Cabe destacar que na área de estudo as maiores elevações (>20%) não representam a superfície do terreno e sim o dossel das árvores.

3.2.3 Trabalho de Campo.

O trabalho de campo consistiu no mapeamento do uso e ocupação do solo na orla das sub-bacias que apresentaram vulnerabilidades altas e muito altas, através do Sistema de Posicionamento Global (GPS), modelo *Garmim 76 CXs*, acompanhado de um registro fotográfico da mesma.

Em campo, foram reconhecidos os tipos de atividades antrópicas presentes, tais como: atividades comerciais, industriais, de transporte, turismo/lazer e habitação, assim como obras de contenção da margem, possíveis pontos de poluição, além das discontinuidades na vegetação e os efluentes que deságuam no rio Guamá.

3.2.4 Critérios utilizados para estabelecer as classes de vulnerabilidade nas sub-bacias estudadas

3.2.4.1 Integração e análise de dados

Em posse dos produtos gerados através dos *softwares E-Cognition 8* e *Spring 5.1.4* e dos mapas compilados de Costa (2001) e Matta (2002), foi possível a construção de quatro mapas temáticos para a área de estudo: mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal (tipo de uso), mapa geológico (litologia), mapa de declividade (classe) e mapa de solos (tipo), este último gerado a partir da digitalização e registro do mapa de solos de Matta (2002). Segue abaixo a tabela 6 com os critérios adotados para os mapas temáticos utilizados.

Tabela 6 - Variáveis e critérios adotados.

Variáveis	Critérios
Geologia	Tempo geológico e fragilidade litológica
Solos	Maturidade pedogenética
Declividade	Variação de declividade
Vegetação/ Uso do solo	Proteção da paisagem

Fonte: Nascimento e Dominguez (2009) e Tagliani,(2002).

3.2.5 Vulnerabilidade ambiental

Para a confecção do mapa de vulnerabilidade ambiental, os mapas de uso/ ocupação do solo e cobertura vegetal, declividade, geologia e de solo foram convertidos para o formato matricial (*raster*), com tamanho de célula de 30m, assumindo o tamanho do pixel maior, utilizando a ferramenta *Feature to raster*, através do *software ArcMap*. O produto *raster* foi reclassificado em categorias hierárquicas de índices de vulnerabilidade, adaptados da metodologia de Nascimento e Dominguez (2009), que atribuiu valores empíricos de “1” à “5”, em ordem crescente de vulnerabilidade, considerando o grau de sensibilidade de cada unidade para o tema selecionado, de acordo com variáveis qualitativas adaptadas de Tagliani (2002) (Tabela 6), sendo individualizadas, posteriormente, 5 classes de vulnerabilidade: baixa, baixa à média, média, alta e muito alta (Tabela 7).

Tabela 7 - Classes de vulnerabilidade

CLASSIFICAÇÃO	Baixa	Baixa à média	Média	Alta	Muito alta
MÉDIA	1 – 2,2	2,3 – 2,8	2,9 – 3,7	3,8 – 4,2	4,3 – 5

Fonte: Adaptado de Nascimento e Dominguez (2009).

Para os temas declividade e solos foram utilizados índices de vulnerabilidade atribuídos por Crepani (2001), que variam de “1” à “3”, sendo ponderados para intervalos de “1” à “5” pela eq.(2):

Onde,

$$VP = \frac{VO \times 5}{3}$$

VP = Valor ponderado;

(2)

VO = Valor original.

A seguir tabela 8 e descrição para cada tema utilizado para criação dos índices de vulnerabilidade variando de “1” a “5”, adaptada de Nascimento e Dominguez (op. cit.) e Crepani (op. cit.), destacando as condições ambientais que apontam para diferentes fragilidades ou potencialidades ambientais, evidenciando que as classes de mais baixa vulnerabilidade ambiental apresentam menores riscos aos efeitos da ocupação.

No tema geologia foi considerada a fragilidade litológica, representada pelo grau de coesão dos minerais em cada unidade mapeada. Assim, aos sedimentos inconsolidados foram atribuídos os maiores valores, próximos de “5”, de maior significação quanto à vulnerabilidade intrínseca, representados pelos depósitos flúvio-marinhos, flúvio lagunares, marinhos e fluviais, datados do Quaternário (Holoceno). Para os depósitos datados do Pleistoceno, foram atribuídos valores entre “4” e “3,0”. Os sedimentos da Formação Barreiras representam uma situação intermediária, valor “3”, no que diz respeito ao grau de coesão dos sedimentos. Estes valores estão representados na tabela 8.1.

No tema solos foram considerados o grau de maturidade do solo, conforme apresentado na tabela 8.2. Observa-se que aos solos mais desenvolvidos foram atribuídos os menores valores. Assim os Latossolos receberam valores entre 2 e 1, adaptados de Crepani (op. cit.), e, para os solos menos evoluídos adotou-se os maiores valores “5” e “4”, de acordo com a adaptação de Nascimento e Dominguez (op. cit.).

O tema declividade é o principal índice morfométrico utilizado na avaliação da vulnerabilidade (NASCIMENTO e DOMINGUEZ, 2009). Considerando que a área de estudo apresenta dois níveis topográficos bem distintos, região de Terra Firme, região de planície de inundação/várzea, adotou-se neste trabalho as classes utilizadas em estudos realizados por Crepani (2001): <2%, 2%-6%, 6%-20%, 20%-50% e >50% (Tab.8.3).

Para o tema uso e ocupação do solo e vegetação levou-se em consideração a vegetação como protetora da paisagem. Segundo Tricart (1977) a cobertura vegetal responde pela estabilidade dos processos morfodinâmicos. A cobertura vegetal densa apresenta capacidade de parar o “desencadeamento de processos mecânicos da morfogênese” (Nascimento e Dominguez, op. cit.). A baixa energia para a remoção de material e transporte, favorece os processos pedogenéticos enquanto restringe os processos morfogenéticos. Por outro lado, a falta de cobertura florestal densa contribui para a instabilidade ambiental, com o desenvolvimento da morfogênese. Para Christofolletti (1974) as características da cobertura vegetal vão influenciar na variedade das modalidades e intensidades dos processos, contribuindo para a acumulação ou subtração de matéria. Assim segundo Nascimento e Dominguez (op.cit.) foram adotados os valores mais baixos, entre “1” e “3” para os terrenos protegidos que apresentam maior densidade da cobertura vegetal, enquanto os terrenos com coberturas herbáceas ou gramíneas, com culturas de ciclos curtos ou expostos receberam valores elevados entre “4” e “5” (Tab.8.4).

Tabela 8 - Grau de vulnerabilidade das classes dos mapas temáticos

(continua)

8.1 GEOLOGIA	
Unidades Litológicas	Valores de Vulnerabilidade
Formação Barreiras	3
Formação Pós-barreiras	3,7
Sedimentos Recentes	5
8.2. SOLOS	
Tipos de Solo	Valores de Vulnerabilidade
Latossolo amarelo álico	1,8
Gleissolo álico	4,5
Petroplínicos álicos	3,8

(conclusão)

Zonas urbanas, expansão 5

8.3 DECLIVIDADE

Classes de Declividade	Valores de Vulnerabilidade
< 2%	1,7
2% - 6%	2,5
6% - 20%	3,3
20% - 50%	4,2
> 50%	5

8.4 USO DO SOLO

Categorias de Uso do Solo	Valores de Vulnerabilidade
Núcleo urbano consolidado	5
Solo exposto	5
Plantação	3
Vegetação Secundária	1,5
Bosque	3
Vegetação de Várzea	1
Planície de maré lamosa vegetada	4
Planície de maré lamosa sem vegetação	5
Lago	5

Fonte: Adaptado de Nascimento e Dominguez (2005, 2009) e Crepani (2001).

Em posse dos mapas rasterizados e reclassificados de acordo com os índices de vulnerabilidade, foi gerado o mapa de vulnerabilidade natural, a partir da correlação dos aspectos naturais de geologia, solos e declividade, e, este mapa de vulnerabilidade natural foi integrado com o mapa de uso/ocupação do solo e cobertura vegetal, a fim de gerar o mapa de vulnerabilidade ambiental para as sub-bacias ao sul da zona metropolitana de Belém. A síntese dos mapas deu-se a partir do algoritmo *raster calculator* da ferramenta *Spatial Analyst* do *software ArcMap 10* através das médias aritméticas:

$$VN = \frac{\text{Tema 1} + \text{Tema 2} + \text{Tema 3}}{3} \quad (3)$$

Onde,

VN = Vulnerabilidade natural.

Tema 1 = Mapa geológico.

Tema 2 = Mapa de solos.

Tema 3 = Mapa de declividade.

E,

$$\frac{(VN + \text{Tema 4})}{2}$$

(4)

2

Onde,

VN = Mapa de Vulnerabilidade natural

Tema 4 = Mapa de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal.

4 RESULTADOS

4.1 VULNERABILIDADE NATURAL E AMBIENTAL DA ÁREA DE ESTUDO

Os mapas de vulnerabilidade natural e ambiental são boas ferramentas para a tomada de decisões referentes ao ordenamento territorial, auxiliando órgãos governamentais e privados. Os índices obtidos fornecem informações sobre as áreas mais adequadas e menos adequadas para um determinado tipo de uso e ocupação, ou as que mais necessitam de conservação. Para aquisição destas informações foi necessário a utilização de mapas temáticos subsidiando as informações que serviram de base para a criação dos índices de vulnerabilidade.

4.1.1 Mapas temáticos

4.1.1.1 Uso e ocupação do solo e cobertura vegetal

Foram reconhecidas nove classes de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal: (1) *Área urbana*, (2) *Bosques* (3) *Lagos* (4) *Plantação* (5) *Planície de maré lamosa vegetada* (6) *Planície de maré lamosa não vegetada* (7) *Solo exposto* (8) *Vegetação secundária* e (9) *Vegetação de várzea* (Fig. 5), dentre as quais, apresentaram maior representatividade as classes *Área urbana* e *Vegetação de várzea* devido à sua localização estratégica e a influência dos canais de rio (Fig.5), sendo que a primeira é caracterizada por índices de vulnerabilidade muito altos e a segunda por baixos índices de vulnerabilidade, evidenciando importância da presença de vegetação para a proteção da paisagem.

Em relação à cobertura vegetal, pode-se observar a colonização da vegetação de várzea (incluindo várzea alta e várzea baixa), à leste da área de estudo, abrangendo parte considerável da região na qual está inserida a sub-bacia do Murucutu, e, vegetações secundárias, normalmente relacionadas às áreas desmatadas, assim como à região de solos expostos, constituindo-se em áreas em que a remoção da cobertura vegetal ocorreu para o estabelecimento das torres de transmissão elétrica da rede CELPA, da adutora de captação de água dos mananciais Bolonha e Água Preta, para o desenvolvimento de atividades agrícolas, e, com representatividade pouco significativa para a ocupação de populações ribeirinhas.

Um pequeno trecho de planície de maré lamosa vegetada também pode ser observado à sudoeste da área em questão, sendo caracterizada pela colonização de vegetação pioneira,

Montricárdia arborescens Schott (aninga) e gramíneas (Fig. 6 e 7), que por sua vez favorecem a deposição de sedimentos finos e o desenvolvimento desta província na região.

A classe *Lago* compreende os mananciais Bolonha e Água Preta, responsáveis pelo abastecimento de água da cidade de Belém, além de lagos artificiais próximos às áreas de plantações. Cabe destacar que boa parte do manancial Bolonha apresenta sua superfície recoberta por vegetações secundárias.

Figura 5 - Mapa de uso/ ocupação do solo e cobertura vegetal.

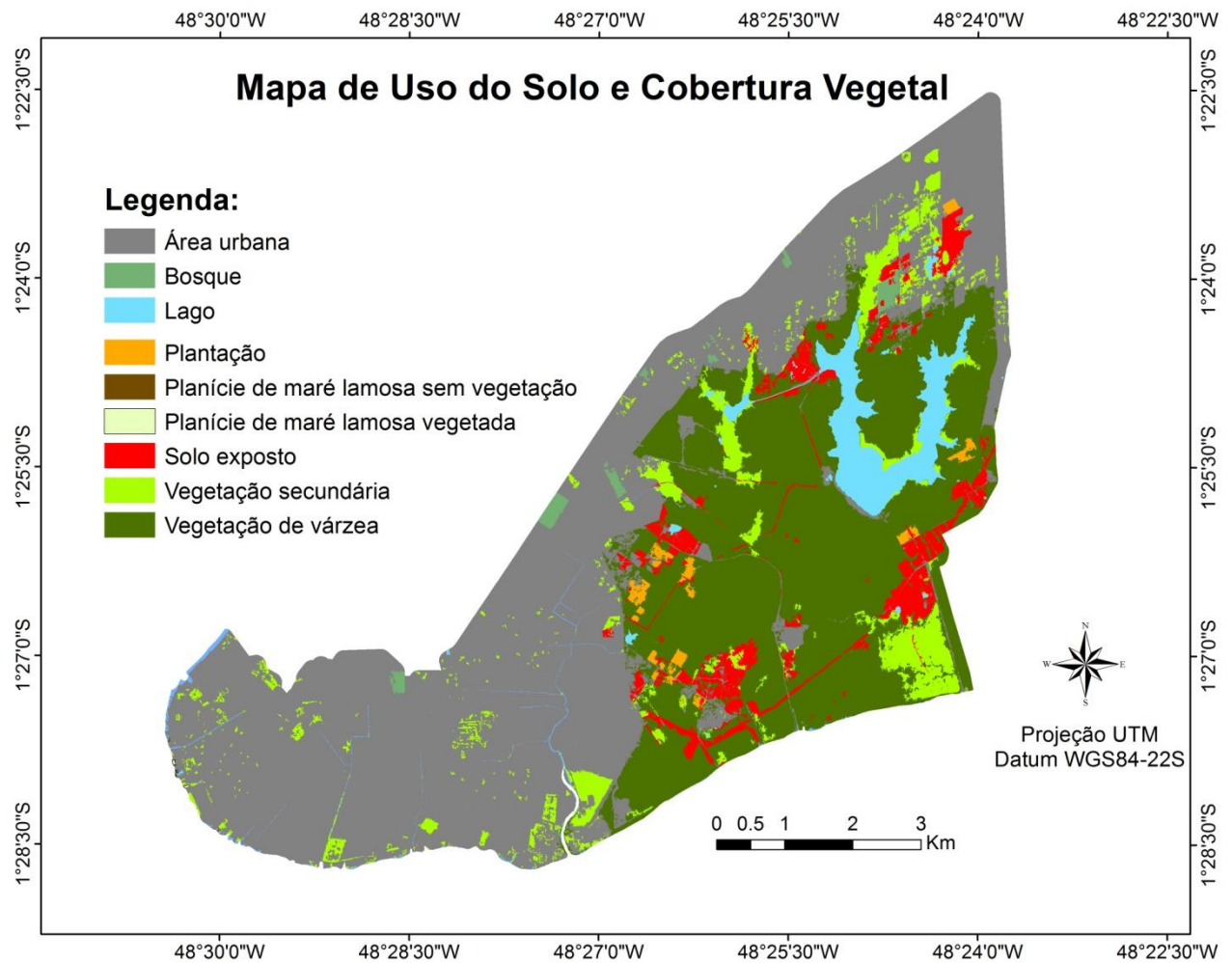


Figura 6 - Planície de maré lamosa vegetada colonizada por a) aningas (*Montricária arborescens* Schot e b) gramíneas.



Figura 7 - Fotografia aérea evidenciando a presença da planície de maré lamosa não vegetada (seta vermelha) e planície de maré lamosa vegetada (seta laranja).



Fonte: (CODEM, 1997).

4.1.1.1.1 Índice Kappa

Para a validação da classificação foram coletadas 10 amostras de cada classe, excetuando-se as classes *Planície de maré lamosa vegetada* e *Planície de maré lamosa não vegetada*, devido não apresentarem amostras suficientes. A matriz de erro para validação da classificação das classes apresentou índice de precisão geral de 0,94 e índice kappa geral de 0,93 (Tab. 9), sendo considerado de excelente nível de desempenho. O índice kappa por classe obteve 100% de precisão para as classes *Vegetação de várzea*, *Área urbana*, *Água*, *Lago*, *Planície de maré lamosa vegetada* e *Plantação*, e, 88,88% para as classes *Planícies de maré lamosa vegetada* e *Planície de maré lamosa não vegetada*, por fim 67,46% para a classe *Solo exposto*.

Tabela 9 - Índice Kappa gerado a partir da classificação orientada a objetos.

Classificação	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Total	Erro de comissão	Erro do usuário
A	10	0	0	0	0	0	3	0	0	13	23,08%	76,92%
B	0	10	0	0	1	0	0	0	0	11	9,1%	90,9%
C	0	0	10	0	0	0	0	0	0	10	0%	100%
D	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10	0%	100%
E	0	0	0	0	9	0	0	0	0	9	0%	100%
F	0	0	0	0	0	10	0	1	0	11	9,1%	90,9%
G	0	0	0	0	0	0	7	0	0	7	0%	100%
H	0	0	0	0	0	0	0	9	0	9	0%	100%
I	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	0%	100%
Total	10	10	10	10	10	10	10	10	10			
Erro de omissão	0%	0%	0%	0%	10%	0%	30%	10%	0%			
Exatidão do produtor	100%	100%	100%	100%	90%	100%	70%	90%	100%			
Kappa por classe	100%	100%	100%	100%	88,88%	100%	67,46%	88,88%	100%			
Precisão geral	0,944444											
Índice Kappa	0,9375000											

Legenda: a) Veg. Várzea, b) Área urbana, c) Água, d) Lago, e) Planície de maré lamosa não vegetada, f) Planície de maré lamosa vegetada, g) Solo exposto, h) Planície de maré lamosa vegetada, i) Plantação.

4.1.1.2 Declividade

A área de investigação apresentou em quase sua totalidade declividades inferiores a 2% (Fig.8), que de acordo com Costa (2001) correspondem à terrenos planos ou quase planos onde o escoamento superficial é de lento à muito lento, constituindo-se em áreas impróprias para a instalação de saneamento e canalizações de água subterrâneas .

Costa (2001) destacou que esse padrão de declividade ocasiona dificuldades na rede de drenagem pluvial, facilitando entupimentos que freqüentemente geram alagamentos, responsáveis por inundações periódicas em áreas de várzea que mesmo urbanizadas continuam apresentando inundações recorrentes nos períodos de maior precipitação pluviométrica, principalmente, quando associadas às marés de sizígia.

No geral, as declividades maiores de 6% concentraram-se ao norte da área de estudo, com maior representatividade à nordeste, especialmente na região próxima aos lagos Bolonha e Água-preta, onde também puderam ser observadas áreas com declividades superiores à 20%, embora pouco representativas, possivelmente relacionadas ao dossel das árvores nesta região.

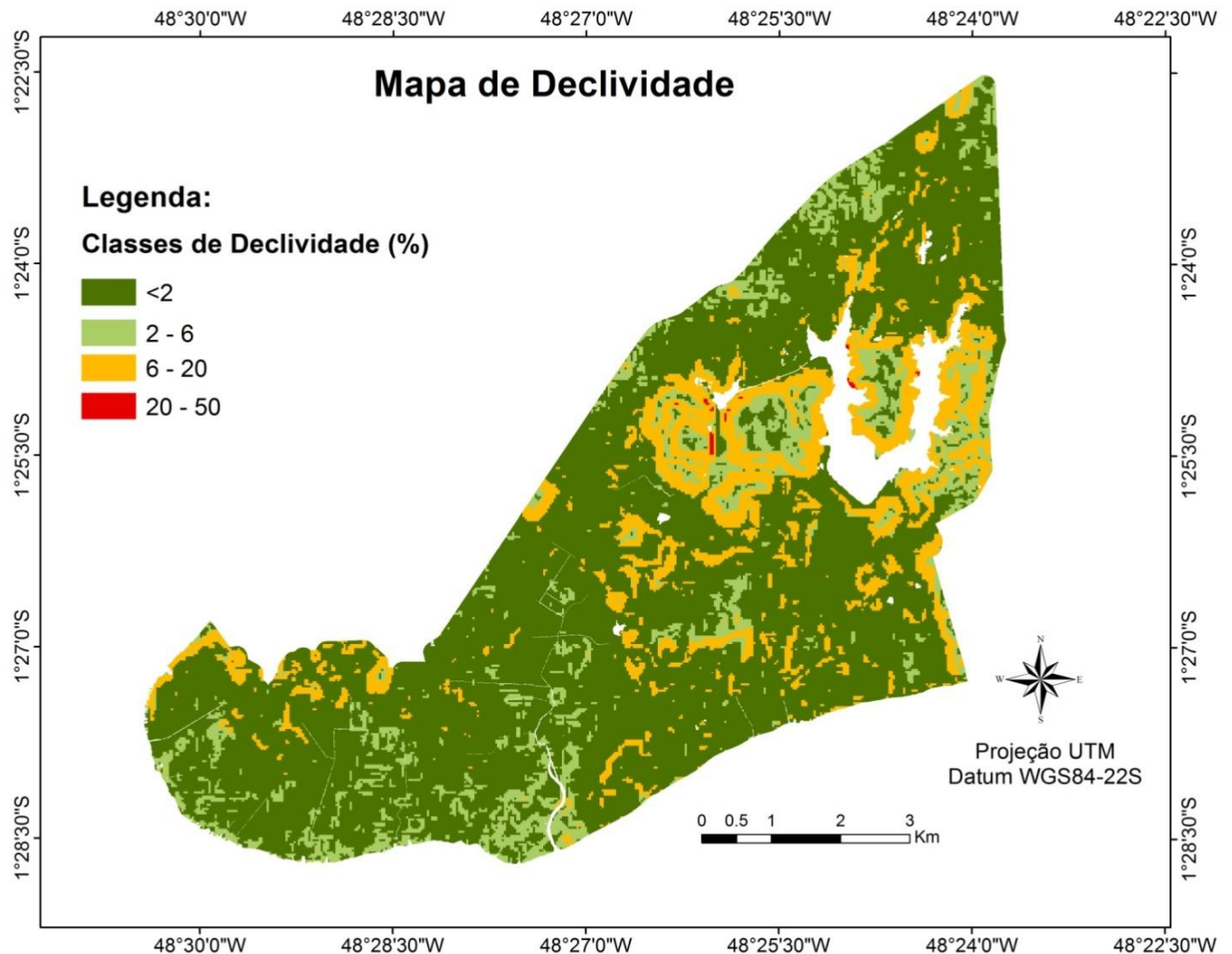
Declividades nos intervalos de 2%- 6% foram observadas, principalmente, à sudoeste da área de estudo e na região próxima aos lagos, aparentemente relacionados com as classes de declividade superiores à 6%.

Deste modo, é possível constatar que a declividade é pouco representativa em relação à erosão do solo na área de estudo, apresentando índice de vulnerabilidade baixo (1,7) em quase toda a região.

Cabe ressaltar que os valores de vulnerabilidade para a temática declividade foram atribuídos de acordo com os estudos realizados por Crepani (2001) e Nascimento e Dominguez (2009), levando em consideração o grau de susceptibilidade a movimentos de escorregamentos, de modo que, quanto maior a declividade de um terreno, maior o índice de vulnerabilidade atribuído ao mesmo. No entanto, na área de investigação do presente estudo é possível se deparar com outro tipo de realidade, anteriormente destacada por Costa (2001), de modo que a baixa declividade dificulta o escoamento superficial, intensificando os processos de alagamentos e inundações. Ou seja, a baixa declividade confere maior estabilidade ao

terreno em relação ao fator erodibilidade, mas acarreta em outros tipos de problemas ambientais, como alagamentos e inundações.

Figura 8 - Mapa das classes de declividade presentes na área de estudo



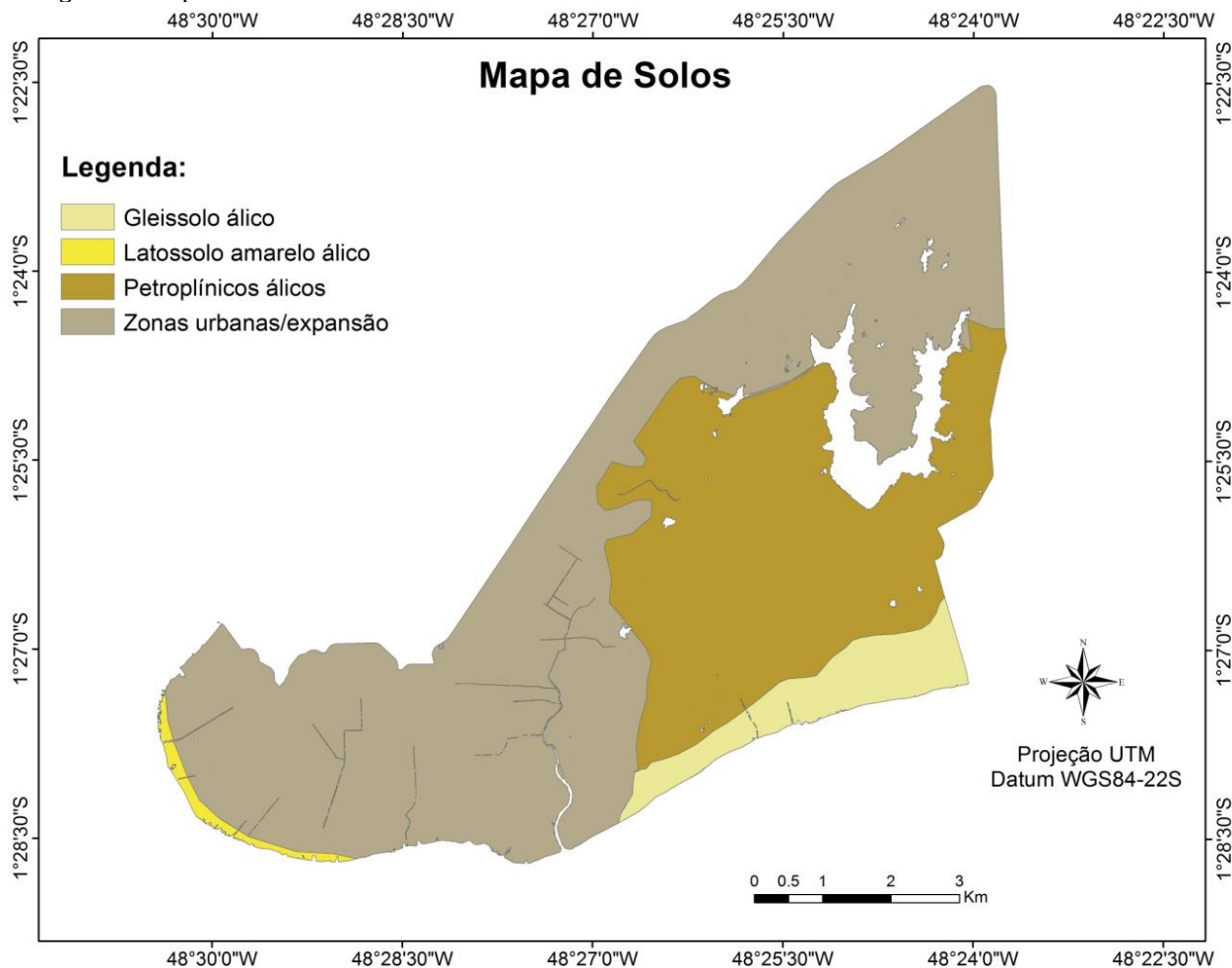
4.1.1.3 Vulnerabilidade para o tema solos

O tipo de solo latossolo amarelo álico está presente, aproximadamente, nas margens das sub-bacias da Tamandaré e da Estrada Nova, à sudoeste da área de estudo (Fig.9). Com aproximadamente 556,66 km², de pouca representatividade na área de estudo (0,9% da área total). Este solo pode ser considerado estável, devido a sua elevada maturidade, tratando-se de solos envelhecidos, de boa drenagem e permeabilidade (DNPM, 1974), o que lhes confere baixa vulnerabilidade.

Os gleissolos álicos, constituem solos desenvolvidos sobre sedimentos relativamente recentes, de textura argilosa e com um considerável conteúdo de silte, sua ocorrência é freqüente em planícies de inundação (DNPM, 1974). Este tipo de solo é caracterizado pelo índice de vulnerabilidade muito alto (5,0) e está presentes na margem sudeste da área de estudo, abrangendo aproximadamente 3.538 km², o que corresponde a 5,8% da área. Os solos petroplínticos álicos, também representam solos pouco desenvolvidos comparados aos latossolos, apresentando alta vulnerabilidade, embora sejam considerados mais estáveis que os gleissolos devido a sua maior maturidade pedogenética, estão presentes em 32,1% da área de estudo, com 19.580 km² de extensão.

As zonas urbanas ou de expansão, caracterizam as áreas nas quais os solos foram recobertos por asfalto e/ou concreto diminuindo a permeabilidade e promovendo um maior escoamento superficial, agravado durante o período de elevadas precipitações, deste modo, apresentando índice de vulnerabilidade muito alto. Constitui-se em 61,2% da área total, englobando a quase totalidade das sub-bacias da Tamandaré, Estrada Nova e Tucunduba e a região norte da sub-bacia do Murucutu.

Figura 9 - Mapa de solos da área de estudo.



Fonte: Modificado de Matta (2002).

4.1.1.4 Vulnerabilidade para o tema geologia

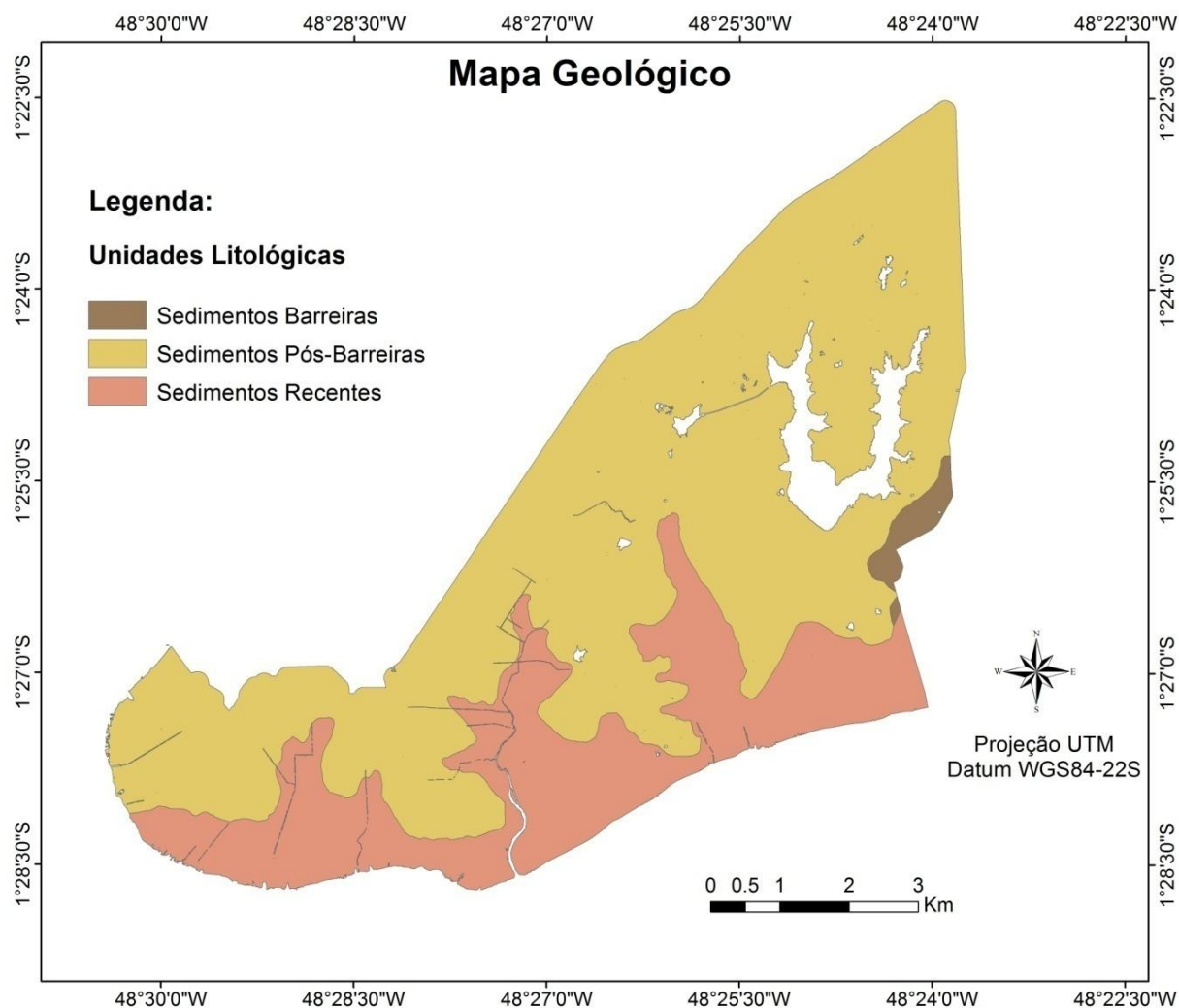
Os critérios utilizados para a atribuição dos índices de vulnerabilidade para as unidades litológicas encontradas na área de estudo, seguindo a metodologia de Nascimento e Dominguez (2009) e Crepani (2001), foram a idade geológica e a fragilidade litológica (dada pelo grau de coesão dos minerais).

A unidade litológica de sedimentos recentes abrange aproximadamente 16.500 km², o que corresponde à 27,05% da área de estudo, com maior representatividade ao sul da área de estudo, defronte ao rio Guamá (Fig.10). Esta unidade apresentou índice de vulnerabilidade muito alto (5,0), constituindo-se em sedimentos inconsolidados e de idade geológica recente (Holoceno), fato este que lhes confere alta instabilidade, sendo também reconhecidos como sedimentos aluviais.

Os sedimentos Pós-barreiras estão presentes em todas as sub-bacias estudadas, englobando 71,67% da área total, também são representados por sedimentos inconsolidados e sua deposição se deu no final do Pleistoceno, sendo considerados, portanto, medianamente instáveis.

A unidade formada por sedimentos Barreiras pôde ser identificada em uma pequena porção (1,27%), localizada à leste da área de estudo. Esta unidade representa uma situação intermediária no que diz respeito ao grau de coesão dos sedimentos conforme destacou Nascimento e Domingues (2009), e, data do Terciário, sendo atribuída a mesma, valor de vulnerabilidade “3”.

Figura 10 - Mapa geológico da área de estudo



Fonte: Modificado de Costa (2001.)

4.1.2 Construção do mapa de vulnerabilidade ambiental

O mapa de vulnerabilidade ambiental confeccionado a partir da síntese dos mapas de geologia, solos, declividade e uso/ocupação do solo e cobertura vegetal, visa fornecer informações a respeito da estabilidade do ambiente, levando em consideração seus aspectos naturais e sua inter-relação com as pressões antrópicas as quais está submetida.

A classe de vulnerabilidade muito alta (4,3 - 4,7) engloba uma área total de 12.949,2 km² (Tabela 10), com maior representatividade na sub-bacia da Estrada Nova. Correspondem às regiões em que a zona urbana se desenvolveu sob a sedimentação recente, associadas à planície de inundação do rio Guamá e caracterizadas por classes de declividade inferiores a 6% (Fig. 11). A região em que a situação descrita anteriormente

coincidiu com a presença de latossolos amarelos álicos teve a sua vulnerabilidade amenizada, provavelmente devido à maior maturidade, boa permeabilidade e drenabilidade deste tipo de solo, o que lhe confere boa resistência à erosão, entretanto, esta região ainda se constitui em uma área de elevada vulnerabilidade, devido ao alto peso das variáveis uso do solo (*Área urbana*) e geologia (sedimentação recente) presentes na mesma. Vulnerabilidades muito altas também são encontradas em áreas onde a classe de uso do solo *Área urbana* está situada sob a sedimentação Pós-barreiras em declividades superiores a 6%.

A classe de alta vulnerabilidade ambiental (compreendida entre os índices de “3,8” a “4,2”) inclui também as regiões em que a classe *Área urbana* se relaciona com a sedimentação Pós-barreiras, e, as regiões em que a classe *Solo exposto*, coincidiu com a presença de solos petroplínticos álicos, tanto em sedimentos Recentes quanto em sedimentos Pós-barreiras (Fig. 11), abrangendo uma área total de 22.350,6 km².

A classe de média vulnerabilidade (2,9-3,7) foi pouco significativa na área de estudo (Tab.10), correspondendo às áreas em que sedimentação Pós-barreiras, coincidiu com a presença de latossolos amarelo álico e declividades entre 2% - 6%, e, as áreas recobertas pelas classes bosques e plantações sobre a sedimentação Pós-barreiras.

A classe de baixa à média vulnerabilidade ambiental compreende as áreas em que a vegetação de várzea se desenvolveu sobre declividades superiores à 6%, coincidindo com a sedimentação Pós-barreiras e solos petroplínticos álicos, como também nas áreas em que a vegetação secundária se relacionou com a sedimentação recente e gleissolos álicos.

A cobertura do solo pela vegetação de várzea em declividades inferiores à 2% apresentou baixa vulnerabilidade (1,9-2,3) nos três tipos de unidades litológicas encontradas e, tanto em solos petroplínticos álicos, como em gleissolos álicos, preconizando a importância da vegetação para a estabilidade do terreno, face aos processos morfodinâmicos, conforme elucidado por Tricart (1977).

Baixa vulnerabilidade também foi encontrada na região onde pode-se observar a planície de maré lamosa vegetada se desenvolvendo sobre os sedimentos recentes e latossolos amarelo álico, em classes de declividades inferiores à 6%.

Figura 11 - Mapa de vulnerabilidade ambiental da área de estudo.

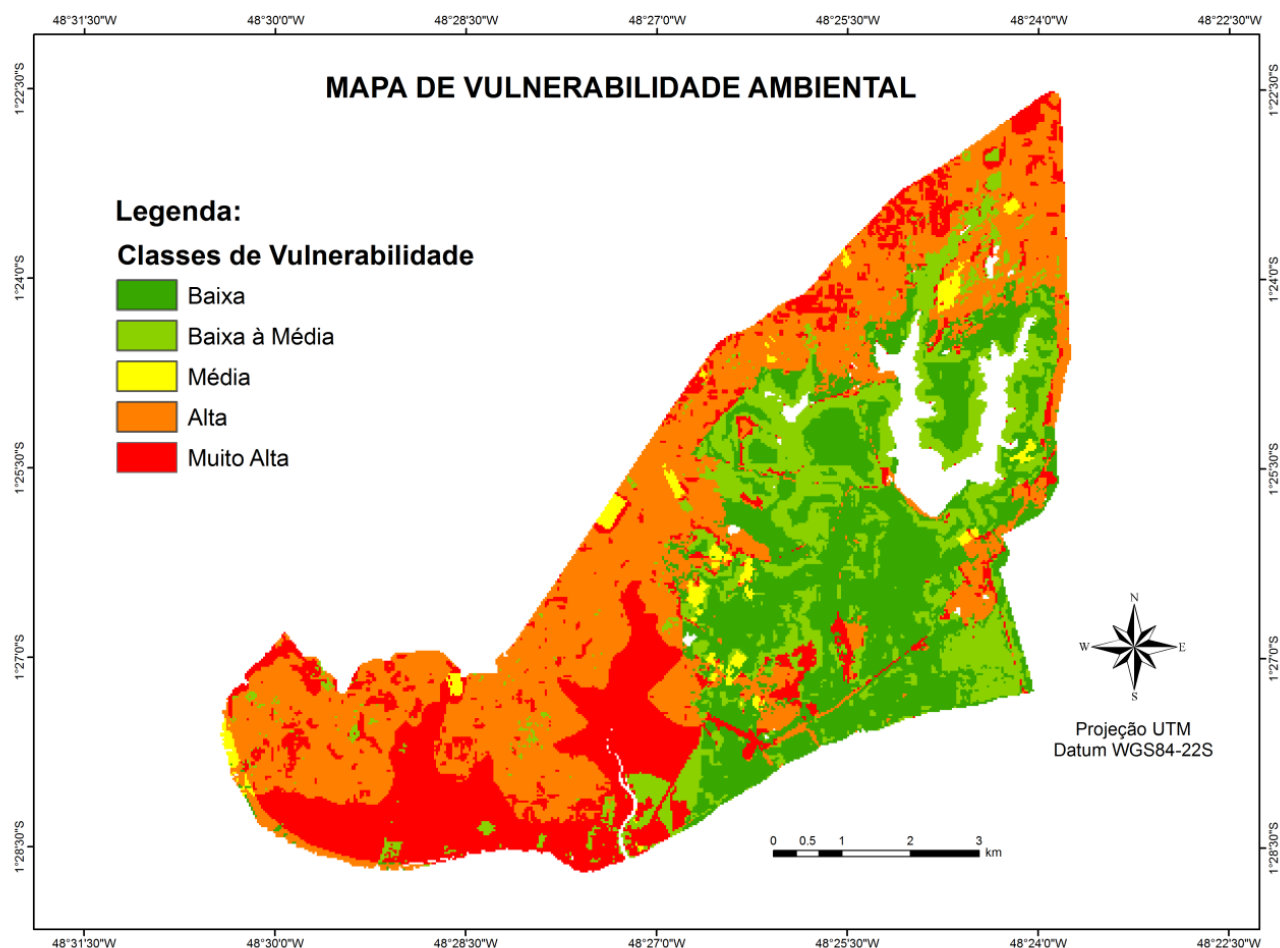


Tabela 10 - Classes de vulnerabilidades e sua abrangência na área de estudo.

Classes de Vulnerabilidade	km ²	Porcentagem
Baixa	14.290,2	23,47%
Baixa à média	10.303,2	16,92%
Média	995,4	1,63%
Alta	22.350,6	36,71%
Muito alta	12.949,2	21,27%

4.2 CARACTERIZAÇÃO DA OCUPAÇÃO NA ORLA DAS REGIÕES MAIS VULNERÁVEIS DA MARGEM SUL DA CIDADE DE BELÉM/PA.

A ocupação da cidade de Belém se deu a partir da sua orla fluvial, com crescente impermeabilização e ocupação dos fundos de vale, apresentando um grande divisor de águas constituído pelas avenidas Presidente Vargas, Nazaré, Magalhães Barata, Almirante Barroso e BR-316 (PEREIRA, 2011).

As sub-bacias ao norte do eixo divisor de águas drenam para a Baía do Guajará, e as sub-bacias ao sul drenam para o rio Guamá, estas últimas compondo as sub-bacias do Murucutu, Tucunduba, Estrada Nova, e, parte da sub-bacia da Tamandaré.

As regiões de vulnerabilidades altas e muito altas corresponderam às áreas mais urbanizadas da área de estudo, englobando principalmente as margens das sub-bacias da Tamandaré, da Estrada Nova e do Tucunduba, nas quais foram individualizadas diferentes formas de uso e tipos de ocupações presentes na zona costeira das mesmas:

4.2.1 Sub-bacia da Tamandaré.

A sub-bacia da Tamandaré compreende o centro histórico da cidade de Belém, abriga o bairro da Cidade Velha, parte do bairro da Campina e Batista Campos. Corresponde a única região em que a ocupação da orla se procedeu até certo ponto de maneira planejada. Estão presentes na mesma os principais pontos turísticos da cidade: Estação das Docas, Ver-o-peso e o Complexo Feliz Lusitânia (Fig.12), caracterizando intenso desenvolvimento da atividade turística de forma organizada à oeste desta sub-bacia, enquanto que a leste da mesma, excetuando-se o Mangal das Garças, prevalecem ocupações irregulares, com infra-estrutura incipiente, onde atividades comerciais e portuárias se fazem presente (Gráfico 1), e com pequena representatividade é utilizada para uso habitacional (Fig.14).

Estabelecimentos desativados (Fig.15), normalmente associados às áreas de depósitos de resíduos das atividades comerciais e portuárias também foram encontrados, assim como possíveis focos de poluição pontual de derivados de petróleo, devido à presença de postos de combustíveis flutuantes e em palafita (Fig.14). Na orla desta sub-bacia está presente o Banco Sul da cidade de Belém, podendo-se observar o desenvolvimento das planícies de maré lamosa vegetadas e não vegetadas.

Gráfico 1- Gráfico quantificando os tipos de ocupações presentes na orla da sub-bacia da Tamandaré

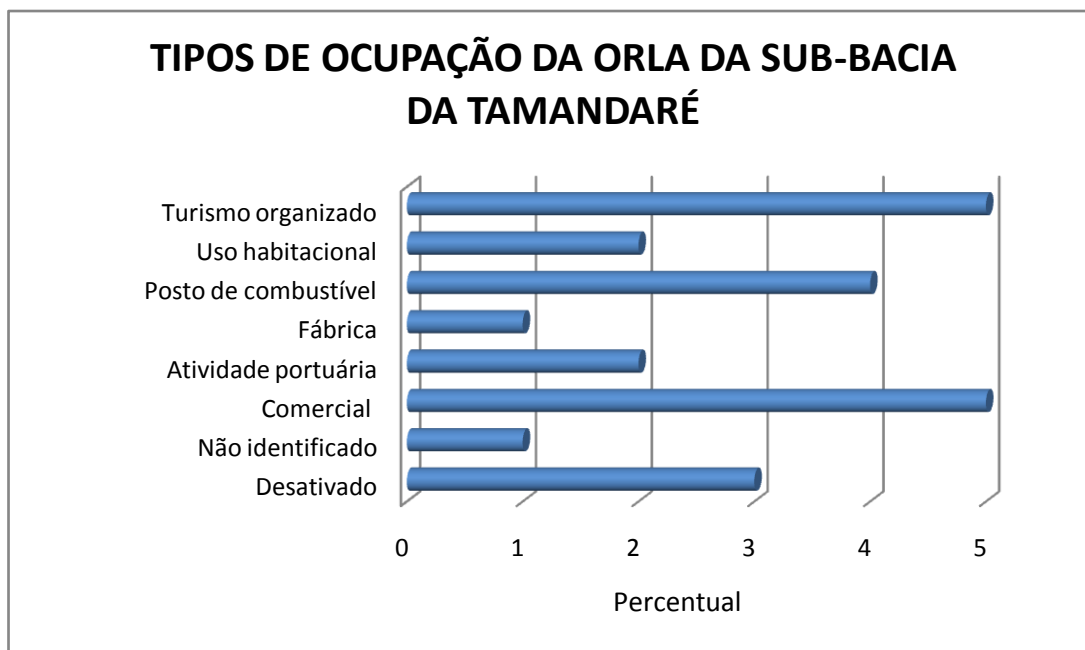


Figura 12 - Complexo Feliz Lusitânia, ponto turístico da cidade de Belém.

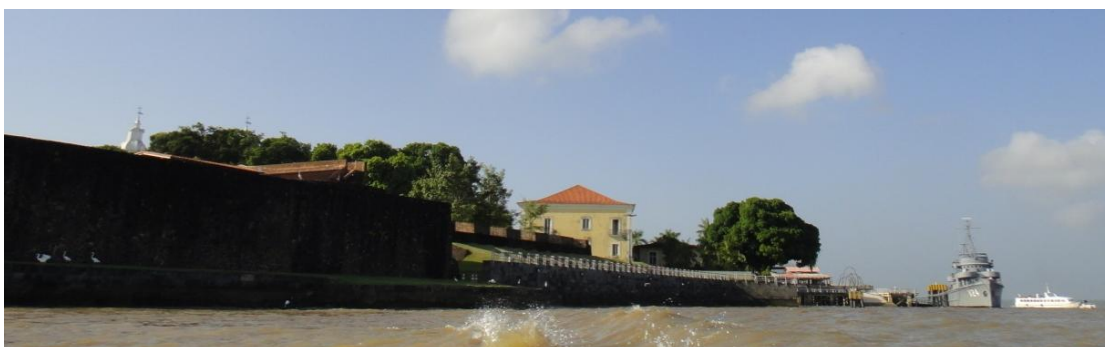


Figura 13 - Estabelecimentos com atividades comerciais e portuárias.



Figura 14 - Residências em palafita, com ausência de saneamento básico.



Figura 15 - Estabelecimento desativado sobre planície de maré lamosa vegetada, com presença de entulhos de embarcações nas adjacências.



Legenda: Setas evidenciando a presença de embarcações abandonadas.

Figura 16 - Área de depósito de lixo.



Figura 17 - Posto de combustível flutuante.



4.2.2 Sub-bacia da Estrada Nova

A sub-bacia da Estrada Nova ocupa aproximadamente os bairros da cidade Velha e Jurunas, tem sua orla caracterizada pelo estabelecimento de ocupações irregulares, construídas em sua maioria em palafita, caracterizadas pela ausência de saneamento básico, formando as áreas conhecidas como “baixadas”¹. Apesar da elevada quantificação de moradias nesta orla (Gráfico 2), este tipo de uso ocupa apenas uma pequena parcela do terreno, localizado de maneira condensada em pontos específicos da orla, exemplo disso pode-se observar em um trecho de 27 metros da orla, no qual foram quantificadas 18 residências (Fig.18).

Foram verificados nesta orla a presença de postos de combustível (Tabela 11), estaleiros, estâncias (Fig.19), portos com transporte de produtos alimentícios, bebidas e materiais de construção, além de terminais hidroviários, evidenciando o caráter portuário desta orla, na qual a principal atividade consiste no comércio de produtos alimentícios e materiais de construção, e, em menor escala no transporte de passageiros (Fig. 20).

Podem ser encontradas nesta orla, ainda, diferentes realidades sociais, sendo identificadas condições insalubres de trabalho e concentrações de moradias inadequadas, desprovidas de saneamento, abastecimento de água e de coleta e tratamento de lixo, co-existindo com atividades turísticas e de lazer de alto padrão social (Fig 21 e 22).

Em 1942, uma série de diques, canais e comportas foram instaladas ao longo desta orla, com o objetivo de reduzir as inundações resultantes das marés altas do rio Guamá, e, como parte deste projeto, seria mantida uma faixa de “proteção sanitária” de 100m, a partir da linha d’água do mesmo rio (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM, 2000). Nas décadas subseqüentes esta faixa foi indevidamente ocupada, adquirindo a configuração anteriormente descrita.

Cabe destacar que atualmente nesta região está sendo desenvolvido o Projeto Portal da Amazônia (Fig. 23), sob a responsabilidade da Secretaria Municipal de Urbanismo da Secretaria Municipal de Belém, que consiste no saneamento da Bacia da

¹ “A baixada é constituída de terrenos de cota inferior à 3,70m da maré máxima e é formada por um imenso charco, onde estão situadas as palafitas (BARBOSA, 2003)”.

Estrada Nova, através da implantação de um projeto de macrodrenagem que visa a melhoria das condições de saneamento básico e solução do problema das enchentes, sendo previsto a remoção das edificações em palafita e o reassentamento da população residente em conjuntos habitacionais (Fig. 24), liberando o acesso ao rio para a população (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM, 2006).

Gráfico 2- Gráfico quantificando os tipos de ocupações presentes na orla da sub-bacia da Estrada Nova.

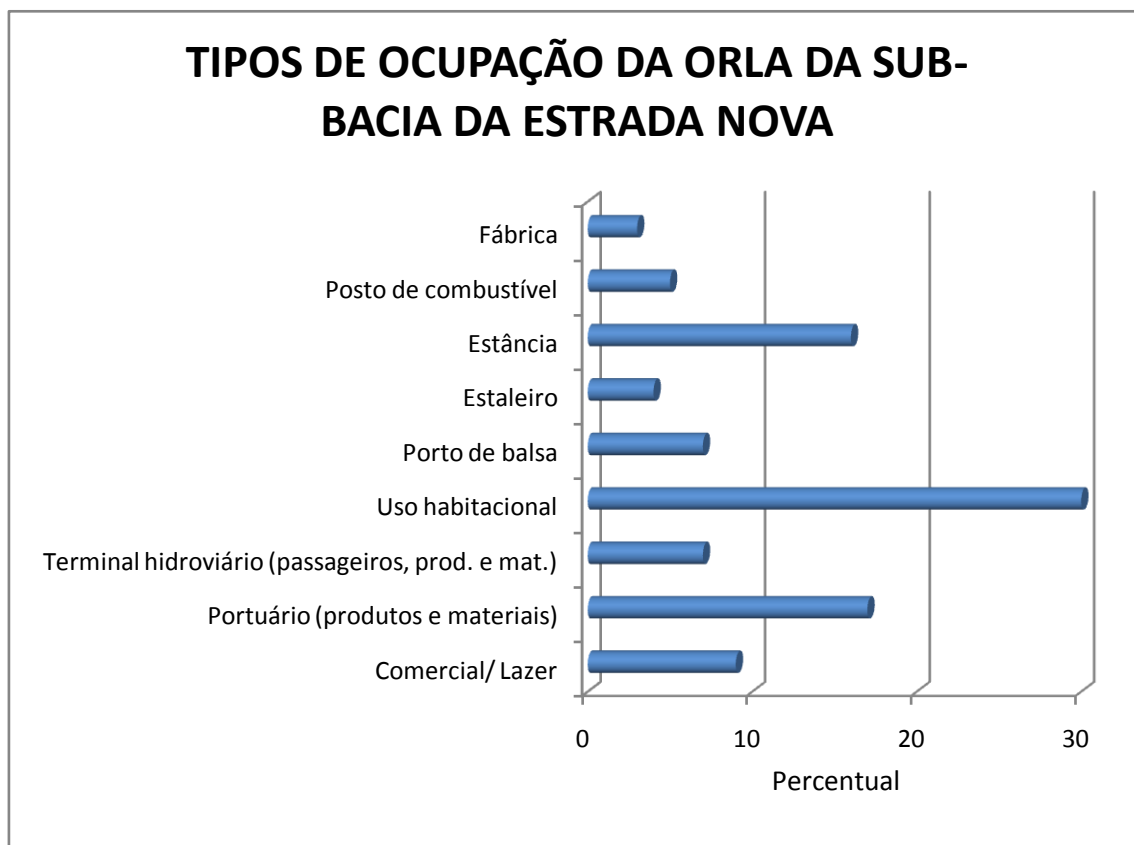


Figura 18 - Concentração de ocupações irregulares para uso habitacional.



Tabela 11- Postos de combustíveis, compreendendo possíveis áreas de poluição pontual de derivados de petróleo e suas respectivas coordenadas.

Posto Fenix Tipo: flutuante. Latitude: 778735,100 Longitude: 9836610,313	
Posto São Jorge Tipo: flutuante. Latitude: 778886,250 Longitude: 9836556,309	
Posto BR Tipo: flutuante. Latitude: 779111,721 Longitude: 9836454,862	
Posto Marina B&B Tipo: flutuante. Latitude: 780966,025 Longitude: 9836601,620	
Posto Nossa Senhora do Perpétuo Socorro Tipo: flutuante. Latitude: 781692,290 Longitude: 9836689,144	

Figura 19 - Área de estâncias, armazenagem de materiais de construção.



Figura 20 - Porto da Palha, terminal hidroviário com transporte de passageiros e produtos.



Figura 21 - Hotel Beira rio e restaurante à frente.



Figura 22 - Clube náutico, Marina B&B.



Figura 23 - Início das obras do projeto Portal da Amazônia.



Figura 24 - Conjunto habitacional do projeto Portal da Amazônia



4.2.3 Sub-bacia do Tucunduba

Nesta região da orla, cujo acesso em terra foi possível, pôde-se quantificar a extensão da erosão na margem desta sub-bacia, cujo principal agente responsável, é inicialmente atribuído por Machado (1986), às correntes de maré atuantes no rio Guamá, e, em estudos posteriores, comparando pontos de erosão e deposição, Mello e Silva (2011) atribuiu a erosão a maior intensidade da componente de velocidade da corrente transversal à margem.

A orla desta sub-bacia compreende a cidade Universitária da UFPA, possui dois afluentes que deságuam no rio Guamá, o igarapé Sapucajuba e o igarapé Tucunduba, este último de maior representatividade, com 26,33 metros de largura próximo à sua foz.

Entre o início da orla e o igarapé Tucunduba, compondo o Campus Básico da UFPA, as infra-estruturas de contenção mostraram um efeito mais satisfatório, gabião

do tipo caixa² (Fig. 25) com 246 metros de extensão e muros de arrimo diagonais à margem que possibilitam a dissipação da energia das ondas, apesar das mesmas não terem sido mostradas até o presente momento como um agente preponderante para ação dos processos erosivos. Nesta zona foram quantificados dois trechos, com 33,5 e 110 metros de erosão (Fig. 26 e Fig. 27 respectivamente), próximos à capela universitária, seguida de uma zona de 73 metros com desenvolvimento de vegetação recente (Fig. 28), e posteriormente muros de arrimo em boas condições que se prolongam por 132 metros (Fig. 29).

Na região compreendida entre os igarapés Sapucajuba e Tucunduba, Campus Profissional I da Universidade Federal do Pará, foi observada a presença de muros de arrimo verticais, compondo um total de 346 metros de extensão, dentre os quais, atualmente, 180 metros se encontram tombados, mostrando a ineficiência deste tipo de contenção (Fig. 30). Neste trecho a erosão já se encontra próximo à estrada, que atualmente está interditada, e, há um somatório de 227,5 metros de extensão de trechos erodidos, nos quais foram aplicadas medidas paliativas, como sacas de areia e cimento compactados, que também não mostraram efeito satisfatório (Fig. 31).

Na margem desta sub-bacia, na qual está inserida a Universidade Federal do Pará, é evidente a ação de intensos processos erosivos, enquanto que nas margens mais urbanizadas, da Estrada Nova e da Tamandaré, pode-se observar a deposição de material sedimentar, formando o “Banco Sul da Cidade de Belém” que corresponde à uma extensa planície de maré lamosa, formada devido a dissipação da energia das correntes de maré, conforme elucidado por Gregório (2008), em consequência da quebra da energia das correntes de enchente que bordejam inicialmente a margem direita da Baía do Guajará e adentram no rio Guamá, encontrando com as correntes de final de vazante do mesmo, ocasionando a deposição de sedimentos trazidos pelos rios Guamá e Acará, conforme descrito por Pinheiro (1987) e posteriormente ratificado por Silveira (1989) e Gregório (2008). Cabe destacar que na região onde se desenvolve a planície de maré lamosa, encontra-se uma grande quantidade de estruturas artificiais (palafitas), que podem estar agindo como “armadilhas de sedimentos”, de forma a contribuir para a deposição de material sedimentar nesta região.

² Gabião do tipo caixa é uma estrutura metálica, em forma de paralelepípedo, produzida a partir de uma malha hexagonal de dupla torção, com enchimento de pedras (BERNI, 2007). São muito empregados, na forma de muros, consistindo em uma estrutura armada, flexível, drenante e de grande durabilidade (SILVA, 2010).

Figura 265 - Contenção em gabião do tipo caixa.



Figura 25 - Ponto de erosão com 33,5 metros de extensão



Figura 27 - Ponto de erosão com 110 metros de extensão, com deposição de lixo.



Figura 28 - Desenvolvimento de vegetação recente próxima à margem, caracterizando início de deposição sedimentar.



Figura 29 - Muro de arrimo diagonal a margem, em boas condições.



Figura 30 - Muro de arrimo vertical tombado.



Figura 31 - Medidas paliativas de contenção, sacas de areia e cimento.



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A partir da análise do mapa de vulnerabilidade ambiental foi possível observar que nas áreas com densa cobertura vegetal, caracterizadas principalmente pela vegetação de várzea, encontram-se classes de *baixa* e *baixa à média* vulnerabilidade, tendo em vista que a presença de vegetação auxilia na retenção de água no solo, diminuindo a velocidade do escoamento superficial e conseqüentemente as taxas de erosão, de forma a conferir maior estabilidade ao terreno.

As áreas em que as classes *Área urbana* e *Solo exposto* se fazem presente exibiram elevada vulnerabilidade, intensificadas nas regiões em que estas classes interagem com a unidade litológica de sedimentos recentes, caracterizando índices de vulnerabilidade muito altos. Constituindo-se, portanto, em áreas que apresentam altos riscos à danos ambientais, tratando-se de terrenos naturalmente frágeis que se encontram comprometidos devido aos efeitos antropogênicos decorrentes de ocupações desordenadas e de desmatamentos.

A ocupação urbana na região de alta e muito alta vulnerabilidade das sub-bacias estudadas ocorreu preferencialmente de forma horizontal, provavelmente devido ao predomínio de sedimentos inconsolidados na região, e, de maneira pouco planejada, caracterizando ocupações conhecidas como “baixadas”, que se estabeleceram de forma irregular em terrenos pertencentes à União (terrenos de marinha), conforme estabelecido pelo Decreto-lei 9.760 de 05/09/1946. Este tipo de ocupação, bem evidenciada na sub-bacia da Estrada Nova, também tende a agravar os problemas de inundação, alterando a impermeabilização do solo e contribuindo para o aumento da disposição inadequada de lixo e entulho nas proximidades dos cursos d’água, enquanto que na orla da sub-bacia do Tucunduba, a fragilidade do terreno decorrente da associação dos aspectos ambientais (solo, geologia, declividade, uso/ocupação do solo e vegetação) mostra seus efeitos com o processo de erosão do solo.

De uma maneira geral, houve uma predominância da classe de alta vulnerabilidade ambiental na área de estudo, englobando 36,71% da área total, além de significativa representatividade da classe de vulnerabilidade ambiental muito alta (21,27% da área de investigação), enfatizando a necessidade de maior atenção por parte do poder público para estas regiões, no que diz respeito ao seu ordenamento territorial,

com a consequente melhoria da qualidade de vida das populações que nelas habitam e a aplicação de medidas de controle de uso e ocupação do solo.

O método de análise da vulnerabilidade ambiental empregado neste trabalho consiste em uma ferramenta eficaz para o gerenciamento do ambiente, identificando e fornecendo informações a respeito das áreas de maior vulnerabilidade, a partir da interação entre os aspectos naturais (geologia, declividade, solos e vegetação) e antrópicos (uso do solo), a fim de prevenir e/ou mitigar possíveis danos e garantir seu “uso sustentável”, visto que, conhecer as vulnerabilidades de um determinado território é o primeiro passo para gerenciá-lo, de forma a orientar políticas públicas de incentivo ou restrição de determinadas atividades. Recomenda-se, portanto, a extensão do mapeamento da vulnerabilidade ambiental para as demais sub-bacias que compõem a Região Metropolitana de Belém.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W. N. *Vulnerability*. [S.l.]: Global Environmental Change, 2006. v. 16, p. 268-281.
- BARBOSA, M. J. de S.. *Tucunduba: urbanização do igarapé Tucunduba, gestão de rios urbanos – Belém/Pará; estudo de caso*. Belém: UFPA. 2003. 68p.
- BERNI, R dos S. *Uso do gabião para proteção de margens de cursos d'água: o caso do rio Tietê*. 2007. 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade de Anhembi Murumbi, São Paulo, 2007.
- CARVALHO, G. M. B. S.; SOUZA, M. J. N. de.; SANTOS, S. M. Análise da vulnerabilidade à erosão: bacias dos rios Aracatiaçu e Aracatimirim (CE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO, 11., 2003, Belo Horizonte, *Anais...*Belo Horizonte: SBSR. INPE. p. 1281 – 1288. , 2003.
- CODEM. *Ortofotos*; município de Belém, áreas urbanas e de expansão. Projeto CTM em CD-ROM, Belém, 1997.
- COSTA, T. C. D. da. *Análise crítica das metodologias gerais de mapeamento geotécnico visando a formulação de diretrizes para a cartografia geotécnica no trópico úmido e aplicação na região metropolitana de Belém, escala: 1:50.000*. 2001. 279f. Tese (doutorado) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.
- COSTA, F. H. S.; PETTA, R. A.; LIMA, R. F. S.; MEDEIROS, C. N. Determinação da vulnerabilidade ambiental na Bacia Potiguar, região de Macau (RN), utilizando sistemas de informações geográficas. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 58, n.2, p.119-127. 2006.
- COLGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Enviroment*, v.49,n.12, p.1671-1678. 1991.
- CREPANI, E. ; MEDEIROS, J. S.; L. G.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. *Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico- econômico*. São José dos Campos: INPE, 1996. 18p.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; L. G.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: INPE, 2001.103p.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1974. 149 p.
- DEFINIENS. *Definiens professional 5: reference book*. Munich: Definiens (The Imaging Intelligence Company), 2006. 122 p.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). Projeto RADAM. *Folha SA.22 Belém*;. Projeto Radam. Ministério das Minas e Energia. Rio de Janeiro, 1974. 438p. 1974. (Levantamento de Recursos Naturais, v.5).

EL-ROBRINI, M.; MELO, N. F. A. C. & SANTOS, M. L. *Resultados das análises de qualidade de água, sedimentos de fundo, comunidades aquáticas (plâncton, bentos & nécton) e bacteriologia no rio Pará, nas imediações do futuro terminal portuário graneleiro de Barcarena (porto de Vila do Conde, Barcarena-PA) (1ª campanha)*. Universidade Federal do Pará, Belém, 2006. 75p. (Relatório Técnico).

ENGESAT. *IKONOS - ficha técnica resumida 2000-2006*. Disponível : <http://www.engesat.com.br/>. Acesso em: 03/12/2011.

FARR, T. G., KOBRICK, M. *Shuttle radar topography mission produces a wealth of data*, Amer. Geophys. Union Eos, v.81, p.583-585. 2000. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/srtmBibliography.html>. Acesso em: 03/12/11.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem numérica de terreno. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. *Introdução a ciência da geoinformação*. São José dos Campos: DPI. 2006. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>>. Acesso em: 03 dez. 2011.

FIGUEIREDO, G. C.. *Exatidão posicional e temática de imagens orbitais*. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2007. 104p.

FIGUEIRÊDO, M. C. de. B.; VIEIRA, V. P. P. B.; MOTA, S.; ROSA, M. F.; MIRANDA, S. *Análise da vulnerabilidade ambiental*. Documento 127. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Agroindustrial. Fortaleza, CE., 2010. 46p.

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

FONSECA, L. M. G. *Processamento digital de imagens*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, 2000. 105p.

FREITAS, P. T. A. *Distorção e atenuação da maré em um tidal river amazônico: efeitos da sazonalidade da vazão fluvial e geomorfologia (Sistema-Guamá-Capim)*. 2011. 87f. Dissertação (mestrado em Biologia Ambiental) - Instituto de Estudos Costeiros, Campus Universitário de Bragança, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

GEOEYE. *GeoEye: inovative geospatial products & solutions provider*. Disponível em: <http://www.geoeye.com>. Acesso em: 16 nov. 2011.

GONÇALVES, F.D. *Utilização de dados de sensores remota para o mapeamento dos índices de sensibilidade ambiental a derramamento de óleo na Baía de Guajará, Belém – PA*. 2005. 162f. Dissertação (mestrado em geologia e geoquímica) – Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2005.

GREGÓRIO, A. M. da S. *Contribuição à gestão ambiental da Baía de Guajará (Belém-Pará-Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológico*. 2008. 128f. Dissertação (mestrado em geociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2008.

GREGÓRIO, A. M. da S; MENDES, A. C. *Batimetria e sedimentologia da Baía de Guajará, Belém, Estado do Pará, Brasil*. Amazônia: Ci. & Desenv., Belém, v.5. 2009. 20p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Normais climatológicas (1931 a 1997)*. DF. Brasília, 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Gráficos*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnk=graficos>. Acesso em: 02/01/2012.

LIMA, R. R. A agricultura na várzea do estuário do Amazonas. *Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Norte*, Belém, n. 33, p.164. 1956.

LISBÔA, E. G.; BARP, A. R. B.; FERNANDES, L. L. O uso de geotecnologias para a modelagem do potencial poluidor das sub-bacias de contribuição do estuário do Guajará-PA como ferramenta de gestão ambiental. In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 13., 2008, Belém –PA. *Anais....*Belém: SILUBESA, 2008. 8p.

MACHADO, I. H. *Análise batimétrica do rio Guamá nas imediações do Campus Universitário*. 1986. 14f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Pará, Departamento de Geologia, Belém, 1986.

MATTA, M. A. S. *Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua – Pará, Brasil*. 2002. 331f. Tese (doutorado em geologia e geoquímica) Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2002.

MELLO e SILVA, L. M. Caracterização hidrodinâmica em áreas erosivas da orla urbanizada do rio Guamá, Pará. 2011. 57f. Trabalho de conclusão de curso (curso de oceanografia), Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2011.

MORAES, B. C. de; COSTA, J. M. N. da; COSTA, A. C. L. da; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. *Revista Acta Amazônia*. v.35, n.2p.207-214., 2005.

NASCIMENTO, D.M.C. e DOMINGUEZ, J.M.L. O mapa de vulnerabilidade ambiental como subsídio à gestão da zona costeira: o exemplo da planície costeira de Belmonte-BA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 22, 2005, Salvador - BA. *Anais...* Salvador: Associação Brasileira de Cartografia, 2005. p.1-6.

NASCIMENTO, D. M. C. e DOMINGUEZ, J. M. L. Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*. v.39, n.3., p.395-408. 2009.

PARÁ, *Plano Diretor de Mineração em Áreas Urbanas: Região Metropolitana de Belém*. Belém, Governo do Estado do Pará/IBGE, 1995. 157p.

PASSOS, P. N. C. A. Conferência de estocolmo como ponto de partida para a proteção internacional do meio ambiente. UNIBRASIL. *Revista Direitos Fundamentais & Democracia*. Curitiba, PR, v. 6, 25p. 2009.

PENTEADO, A. R. *Belém do Pará: estudo de geografia urbana*. Belém: Universidade Federal do Pará, 1968. v.1, n.2. (Coleção Amazônica – Série José Veríssimo).

PEREIRA, L. O. M. *Avaliação do sistema de drenagem e controle de cheias de Belém verdades e soluções*. Disponível em: <http://dc393.4shared.com/doc/m-NNmvAk/preview.html>. Acesso em: 05/12/11.

PINHEIRO, R. V. L. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará-Belém (PA)*. 1987. 185f. Tese (doutorado em geociências) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1987.

PONTE, J. P. X. *A orla de Belém: intervenções e apropriação*. 2004. 212f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. *Revisão do Plano Diretor do Município de Belém*. Belém: COGEP, 2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. *Orla da Estrada Nova; Relatório de Impacto Ambiental - RIMA*. Secretaria Municipal de Urbanismo, Belém, 2006.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da Região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. *Revista de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande. PB. v.11, n.6, 2007. p.628–636.

SÉGUIER, J. *Diccionario práctico ilustrado*. Porto, Chardon, 1935. 1779p.

SILVA, A. R. T. *Relatório de estágio*. Coimbra: Instituto Politécnico da Guarda. Escola Superior de Tecnologia e Gestão, 2010. 45 p.

SILVA, M. A. P.; MALHEIRO, B. C. P.; RIBEIRO R. Territórios do uso nas margens da cidade: a identidade territorial ribeirinha na orla fluvial de Belém-PA (Brasil). In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10., São Paulo. *Anais...* São Paulo: Universidade de São Paulo. p.1627-1640. 2005.

SILVEIRA, O. F. M. *Estudo batimétrico/ sonográfico do estuário Guajará, Belém-PA*. 1989. 113f. Dissertação (mestrado) - Curso de Pós-graduação em geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1989.

SIOLI, H. Alguns resultados e problemas da limnologia Amazônica. *Boletim técnico Instituto Agrônomo do Norte*. IPEAN, Belém, p. 3-44. 1951.

SOUZA, C. J. da. S. de. *Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em áreas intensamente antropizada*. 1999. 155f. Dissertação (mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: INPE, 1999.

SUDAM. Ministério do Interior. Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia. *Atlas climatológico da Amazônia*. Belém: PHCA, n. 39, p. 1-125. 1984.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da vulnerabilidade de ambientes costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informações. In: SBSR, 11., 2002, Belo Horizonte, MG, Brasil, *Anais...* Belo Horizonte, MG, Brasil: INPE, 2002. p. 1657 – 1664.

TRICART, J.. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: Recursos Naturais e Meio Ambiente, IBGE, 1977. v.1, 97 p.

ANEXO

ANEXO A - MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Legenda:

Classes de Vulnerabilidade

- Baixa (1,9 - 2,3)
- Baixa à Média (2,4 - 2,8)
- Média (2,9 - 3,7)
- Alta (3,8 - 4,2)
- Muito Alta (4,3 - 4,7)



Escala 1:50.000
Projeção UTM
Datum WGS84-22S

0 0.5 1 2 3 km