

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**ZONEAMENTO GEOAMBIENTAL COMO SUBSÍDIO NA  
DETERMINAÇÃO DE ÁREAS DE INSTABILIDADE EM FAIXAS DE  
INTERVENÇÃO DE DUTOS.**

**CRISTIANE ALESSANDRA DE MOURA**

**Orientador: ProfºDrº Juércio Tavares de Mattos**

Dissertação de Mestrado elaborada junto ao curso de Pós Graduação em Geociências e Meio Ambiente, para obtenção de título de mestre em Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro (SP)

2009

Comissão Examinadora

---

Juécio Tavares de Mattos (orientador)

---

Cenira Maria Lupinacci da Cunha

---

Luis Eduardo de Oliveira

---

Cristiane Alessandra de Moura  
Aluno (a)

Rio Claro, 23 de Abril de 2009.

Resultado \_\_\_\_\_

## Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador Juércio Tavares de Mattos pelo constante apoio durante todo o percurso deste trabalho e também a sua competência e contribuição à minha formação. Ao professor Jairo Roberto Jiménez- Rueda pelos conselhos generosos ao meu trabalho.

A Agência Nacional do Petróleo - ANP, da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP e do Ministério da Ciência e Tecnologia, por meio do Programa de Recursos Humanos da ANP – PRH-5 para o setor de Petróleo e Gás.

Aos coordenadores Programa de Recursos Humanos da ANP – PRH-5, Paulina Setti Riedel e Dimas Dias Brito pelo apoio a minha pesquisa através da concessão de bolsa de mestrado.

Aos meus queridos amigos Ricardo, Lucíola, Mariana, Gabriela e Guilherme, João e Daniel pelo apoio e amizade sincera. Ao Franz por acreditar em mim e alegrar minha vida.

A minha mãe, que sempre me apoiou em todos os momentos de minha vida. Aos meus irmãos Diego e Eliana e meus sobrinhos Julia, Jeferson e Ana Carolina, pelo carinho oferecido.

A todos os colegas da pós-graduação, pelo companheirismo ao longo desta jornada.

Por fim a todos que colaboraram para a conclusão desta dissertação.

**SUMÁRIO**

ÍNDICE .....	v
Resumo.....	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	5
III. ZONEAMENTOS AMBIENTAIS E GEOAMBIENTAIS.....	19
IV. MATERIAIS E MÉTODO.....	22
V. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	74
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
ANEXO .....	83

## ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Tema da Pesquisa .....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.3 Justificativas .....	4
II. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	5
2.1 Localização .....	5
2.2 Terminal Marítimo Almirante Barroso (TEBAR).....	6
2.3 Parque Estadual da Serra do Mar .....	7
2.4 Vegetação .....	8
2.5 Geologia.....	8
2.5.1 Complexo Costeiro.....	8
2.5.2 Unidades Litológicas .....	11
2.5.2.1 Granito Pico do Papagaio.....	11
2.5.2.2 Augen Gnaisse Juqueí .....	11
2.5.2.3 Complexo gnáissico migmatítico .....	11
2.5.2.4 Granito Guaecá .....	12
2.5.2.5 Diques .....	12
2.5.2.6 Coberturas Cenozóicas .....	12
2.6 Geomorfologia.....	12
2.7 Solos .....	16
2.8 Clima .....	17
III. ZONEAMENTOS AMBIENTAIS E GEOAMBIENTAIS .....	19
IV. MATERIAIS E MÉTODO.....	22
4.1 Definição da pesquisa e escolha da área de estudo (1.0).....	23
4.2 Aquisição do material bibliográfico (2.0).....	23
4.3 Seleção de base cartográfica e planimétrica (2.1) .....	23

4.4 Seleção dos produtos de sensoriamento remoto (2.2).....	24
4.5 Definição dos programas utilizados na elaboração das cartas (2.3) .....	25
4.6 Definição dos critérios interpretativos dos produtos de sensoriamento remoto e dados pré-existentes (3.0) .....	26
4.7 Análise Morfoestrutural (4.0) .....	26
4.8 Zoneamento Geoambiental (Cartas de Zonas e Unidades Geoambientais) (5.0)	29
4.8.1 Compartimentação do terreno.....	32
4.8.2 Levantamento dos fatores de análise.....	37
4.8.3 Determinação das classes de suscetibilidade ambiental .....	42
4.9 Análise Morfotectônica (Carta de Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas) (6.0) .....	44
4.10 Carta de densidade de lineamentos estruturais (6.1) e Carta de densidade de traços de juntas (6.2) .....	45
4.11 Carta de máximos 1 e 2 de traços de juntas (6.3) e Carta de zonas de variação de máximos 1 e 2 (6.4) .....	46
4.12 Carta de cruzamentos de lineamentos estruturais (6.5) e Carta de densidade de cruzamentos de lineamentos estruturais (6.6). .....	46
4.13 Avaliação Preliminar (7.0).....	46
4.14 Carta de Suscetibilidade Ambiental (CSA) (8.0) .....	47
4.14.1 Os processos gravitacionais.....	48
4.14.2 Os processos erosivos.....	50
4.15 Avaliação final (9.0) .....	50
4.16 Elaboração da dissertação de mestrado (10.0) .....	50
V. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	51
5.1 Carta morfoestrutural .....	51
5.2 Zonas e Unidades Geoambientais .....	52
5.2.1 Zona Geoambiental (Ja).....	53
5.2.2 Zona Geoambiental (Jb).....	53

5.2.3 Zona Geoambiental (La).....	53
5.2.4 Zona Geoambiental (Lb).....	53
5.2.6 Zona Geoambiental (Mb).....	54
5.2.7 Zona Geoambiental (P) .....	54
5.2.8 Zona Geoambiental (Sa) .....	54
5.2.9 Zona Geoambiental (Sb) .....	55
5.2.10 Zona Geoambiental (Sc) .....	55
5.2.11 Zona Geoambiental (Sd) .....	55
5.3.12 Classificação das Unidades Geoambientais .....	55
5.3 Análise morfotectônica .....	61
5.3.1 Carta de Lineamentos Estruturais e Traços de Junta .....	61
5.3.2 Cartas de densidade de Lineamentos Estruturais e de Traços de Juntas .....	62
5.3.3 Carta de Zonas de Variação de Máximos 1 e 2 .....	67
5.3.4 Carta de Densidade de Cruzamentos de Lineamentos Estruturais.....	69
5.4 Carta de Suscetibilidade Ambiental (CSA).....	71
VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	74
VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
ANEXO 1 - Carta de Suscetibilidade Ambiental (CSA) a processos gravitacionais e erosivos .....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DA FAIXA DE DUTOS OSVAT/OSPLAN. ....	5
FIGURA 2- PARQUE ESTADUAL DA SERRA DO MAR-TRECHO DO NÚCLEO CARAGUATATUBA. (FONTE: ESTADO DE SÃO PAULO – SMA).....	7
FIGURA 3 - MAPA GEOLÓGICO E PERFIL ESQUEMÁTICO DO PLANALTO DE JUQUERQUERÊ E ADJACÊNCIAS. MODIFICADO DE CAMPANHA, ENS & PONÇANO, 1994. ....	9
FIGURA 4- MAPA DE COMPARTIMENTOS DO RELEVO DO PLANALTO DE JUQUERQUERÊ E ADJACÊNCIAS. COMPILADO DO IPT, 1981.....	16
FIGURA 5- ATUAÇÃO DAS MASSAS DE NO ESTADO DE SÃO PAULO. FONTE: MONTEIRO, 2000.....	18
FIGURA 6- FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES REALIZADAS NO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO. ....	22
FIGURA 7– LOCALIZAÇÃO DE ALTO E BAIXO ESTRUTURAL SEGUNDO A DISPOSIÇÃO DA DRENAGEM.....	26
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DA CARTA DE REDE DE DRENAGEM. ....	27
FIGURA 9- ESQUEMA EM CORTE TRANSVERSAL DAS POSSÍVEIS ASSOCIAÇÕES ENTRE MORFOESTRUTURA E MORFOMETRIA FONTE:CAETANO, 2006.....	28
FIGURA 10 – DIVISÃO DOS COMPARTIMENTOS DE RELEVO (PRIMEIRO NÍVEL HIERÁRQUICO DE COMPARTIMENTAÇÃO). ....	33
FIGURA 11- SEGUNDO NÍVEL HIERÁRQUICO DE COMPARTIMENTAÇÃO (ZONAS GEOAMBIENTAIS). ....	34
FIGURA 12 - TERCEIRO NÍVEL HIERÁRQUICO DE COMPARTIMENTAÇÃO (UNIDADES GEOAMBIENTAIS). ....	35
FIGURA 13- ANÁLISE TEXTURAL PARA CLASSIFICAÇÃO DA ALTERABILIDADE DAS UNIDADES ....	38
FIGURA 14- REPRESENTAÇÃO DA CARTA DE DENSIDADE DE DRENAGEM.....	39
FIGURA 15–DETERMINAÇÃO DAS CLASSES DE TROPIA ....	40
FIGURA 16– REPRESENTAÇÃO DA CARTA DE DECLIVIDADE.....	41
FIGURA 17– BANCO DE DADO ELABORADO NO PROGRAMA ARCGIS 9.0.....	42
FIGURA 18 – NÚMERO DE ELEMENTOS (UNIDADES GEOAMBIENTAIS) EM FUNÇÃO DOS INTERVALOS DE VALORES DEFINIDOS PARA A SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL. ....	44
FIGURA 19- CARTAS DERIVADAS DOS LINEAMENTOS ESTRUTURAIS E DOS TRAÇOS DE JUNTAS. ....	45
FIGURA 20- PRODUTOS CARTOGRÁFICOS QUE ORIGINARAM A CARTA DE SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL (CSA). ....	47

FIGURA 21 – REPRESENTAÇÃO DA CARTA MORFOESTRUTURAL.....	51
FIGURA 22 – REPRESENTAÇÃO DA CARTA DE ZONAS GEOAMBIENTAIS.....	52
FIGURA 23 – TABELA DAS UNIDADES GEOAMBIENTAIS OBTIDAS.....	60
FIGURA 24- REPRESENTAÇÃO DA CARTA DE UNIDADES GEOAMBIENTAIS CLASSIFICADAS SEGUNDO SUA SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL PARA A FAIXA DE DUTOS OSVAT/OSPLAN.....	61
FIGURA 25- REPRESENTAÇÃO DA CARTA DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS E TRAÇOS DE JUNTAS.....	62
FIGURA 26 - REPRESENTAÇÕES DAS CARTAS DE DENSIDADE DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS (A) E TRAÇOS DE JUNTAS(B).....	64
FIGURA 27- DIAGRAMA DE ROSETAS PARA OS LINEAMENTOS ESTRUTURAIS (A) E TRAÇOS DE JUNTAS(B). ....	65
FIGURA 28 - REPRESENTAÇÃO DOS LINEAMENTOS ESTRUTURAIS SECUNDÁRIOS N50-80E NA ÁREA DE ESTUDO.....	66
FIGURA 29-DIAGRAMA DE ROSETAS DOS ELEMENTOS LINEARES DA DRENAGEM DA ÁREA DE ESTUDO. ....	66
FIGURA 30 REPRESENTAÇÃO DAS CARTAS DE MÁXIMOS 1 E 2 (A) E DAS ZONAS DE VARIAÇÃO DE MÁXIMOS 1 E 2 (B).....	68
FIGURA 31 - REPRESENTAÇÃO DA CARTA CRUZAMENTOS DE LINEAMENTOS E DENSIDADE DE CRUZAMENTOS. .....	70
FIGURA 32 – DETALHE DE ÁREA NA FAIXA DE DUTOS DE PONTOS DE FEIÇÕES DE ESCORREGAMENTOS.....	73

## ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1- RISCOS OFERECIDOS A DUTOVIAS EM SOLOS TRANSPORTADOS. FONTE: NOGUEIRA JUNIOR & MARQUES, 1998.....	2
QUADRO 2- DETALHES DOS DUTOS EXISTENTES NA FAIXA ESTUDADA. FONTE: CETESB.....	6
QUADRO 3- FOLHAS TOPOGRÁFICAS UTILIZADAS. ....	24
QUADRO 6- UNIDADES SEGUNDO SEUS NÍVEIS HIERÁRQUICOS DE COMPARTIMENTAÇÃO. ....	36
QUADRO 7- NOTAS SOBRE A LEGENDA DA CARTA DE SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL. ....	72

## Resumo

Este trabalho obteve a partir do zoneamento geoambiental da faixa de dutos Osplan/Osvat – nos municípios de São Sebastião e Caraguatatuba – a carta de Suscetibilidade Ambiental a processos gravitacionais e erosivos. Para isso efetuou-se a integração dos seguintes produtos: Carta de Unidades Geoambientais, Carta Morfoestrutural e Carta de Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas. Na Carta de Unidades Geoambientais classificou-se cada unidade segundo os fatores: alterabilidade, declividade, permeabilidade e tropia, de forma a determinar entre estas unidades quais apresentam maior suscetibilidade a processos erosivos e gravitacionais. Já a Carta Morfoestrutural é baseada na interpretação dos elementos de drenagem e relevo e suas relações espaciais, onde as morfoestruturas surgem como anomalias no contexto regional, a partir desta carta pode-se localizar pontos inadequados a instalação de dutos ou que necessitam de monitoria constante e detalhada de forma a evitar impactos a essas obras. A Carta de Lineamentos Estruturais e Traços de Junta determinou as principais deformações tectônicas da área e suas respectivas estruturas: lineamentos estruturais, sistemas de juntas, zonas de variação de traços de juntas (máximos 1 e 2), mediante esta carta pode-se definir zonas consideradas como de instabilidade ambiental, pois sofreram ou sofrem forte influência deformacional rúptil, de compressão ou descompressão. Essas cartas foram integradas em um produto denominado Carta de Suscetibilidade Ambiental a processos gravitacionais e erosivos, a qual permitiu determinar na faixa de dutos áreas com possíveis problemas geotécnicos capazes de causar prejuízos ambientais sérios. Desta análise integrada pretendeu-se elaborar uma ferramenta de gestão acessível a qualquer profissional da área ambiental, ou seja, tornar mais sistemática e operacional a utilização dos procedimentos de integração de dados ambientais.

Palavras-chave: mapeamento geoambiental, meio físico, dutovias, carta de suscetibilidade ambiental, sensoriamento remoto.

## Abstract

This work got from the geoenvironment mapping of the strip of Osplan/Osvat ducts - in the cities of they are Sebastião and Caraguatatuba – of the ambient susceptibility the gravitational and erosive processes map. The procedure consists of fotointerpretation of images, according to the geoenvironment mapping, to obtaining the geoenvironmental units and its characteristics, the morfostructure map and the fractures map (lines of strikes and structural lineaments), for determine between these units which present greater susceptibility the erosive and gravitational processes. Already the morfostructure map is based on the interpretation of the elements of draining and relief and its space relations, where the morfoestruturas appear as anomalies in the regional context, from this map the installation of ducts can be situated inadequate points or that they need monitory constant and detailed of form to prevent impacts to these workmanships. The fractures map (lines of strikes and structural lineaments), determined the main tectônics deformations of the area and its respective structures. These maps had been integrated in a called product of the ambient susceptibility the gravitational and erosive processes map, which allowed determining in the strip of ducts areas with possible geotechnics problems capable to cause serious ambient damages. Of this integrated analysis a tool of accessible management to any professional of the ambient area intended to elaborate itself, that is, to become systematic and operational more the use of the procedures of integration of ambient data.

Key words - geoenvironment mapping, environment, strip of ducts, ambient susceptibility map, remote sensing

## I. INTRODUÇÃO

### 1.1 Tema da Pesquisa

A importância do transporte de hidrocarbonetos por dutovias para o abastecimento energético das áreas interioranas no Brasil esta se acentuando nos últimos anos. Esta situação torna imprescindível a execução de estudos do meio físico que busquem suprir a demanda por mapeamentos ou zoneamentos que priorizem obras deste tipo. Estes estudos devem caracterizar os elementos ambientais existentes nas áreas interferidas por essas dutovias e a partir disto determinar quais trechos nestas faixas podem ser impactados por processos de instabilidade ambiental.

Ao zonar se uma área busca se qualifica - lá ou não a determinado uso, ou seja, o zoneamento parte do uso que pretende fazer se de determinado local, no entanto, o presente trabalho possui um objetivo diferenciado, pois este se refere a uma faixa já instalada de polidutos(Osvat/Osplan), onde foi determinado quais os trechos a partir dos determinantes ambientais adotados apresentam os maiores riscos de processos acelerados de erosão bem como gravitacionais, que podem causar danos a faixa.

A faixa de dutos escolhida para mapeamento é a Osvat/Osplan localizada nos municípios de São Sebastião e Caraguatatuba no litoral norte Paulista. Essa faixa está em operação desde a década de 1970, portanto já tem mais de 30 anos de funcionamento. Os dutos existentes nessa faixa transportam boa parte dos hidrocarbonetos que abastecem as refinarias do planalto paulista.

As obras lineares de engenharia para a instalação de estradas ou dutos são responsáveis pelo aumento dos processos erosivos, devido à mudança das características naturais do terreno. O traçado dos dutos quando interceptam planícies e encostas onde ocorrem depósitos de aluviões, coluviões e corpo de talús podem ser submetidos a problemas geotécnicos de fundação e instabilidade (Quadro 1).

Tipo de Depósito	Tipo de Material e Origem	Riscos associados à instalação de obras lineares
Aluviões	Argilas com baixa capacidade de Suporte, formadas em planícies fluviais	Sofrem adensamento quando submetidos à aplicação de cargas levando a recalques e até ruptura das fundações.
Coluviões	Depósitos formados por gravidade. Areias fofas.	Suportam cargas relativamente baixas, adensando se bruscamente quando submetidos a ondas sísmicas e vibrações, podendo provocar a ruptura dos dutos.
Corpo de Tálus	Depósitos formados por gravidade com compactidade normalmente baixa.	Quando apresentam equilíbrio precário estão sujeitos a rastejos, e eventualmente a escorregamentos. As intervenções para a instalação da dutovia podem induzir a esse desequilíbrio.

Quadro 1- Riscos oferecidos a dutovias em solos transportados. Fonte: Nogueira Junior & Marques, 1998.

Nessa região da Serra do Mar, os depósitos de materiais inconsolidados (Coluviões e Tálus) recobrem as encostas íngremes, devido à ação da água e da gravidade. Numa diferenciação resumida podemos caracterizar os depósitos de aluvião como depósitos de materiais inconsolidados com baixa resistência ao cisalhamento, os quais estão frequentemente relacionados aos escorregamentos da Serra do Mar, enquanto que os depósitos de tálus são compostos predominantemente por depósitos de blocos de rocha ocupando o sopé das encostas (Pastore & Fontes, 1998).

Os elementos envolvidos na dinâmica ambiental dessa áreas são muito complexos, com destaque aos aspectos tectônicos/estruturais, climáticos e a morfometria das vertentes.

Na Serra do Mar ocorrem esporadicamente deslizamentos de encostas desencadeados por eventos climáticos de alta intensidade. Os deslizamentos são fenômenos naturais e atuam conjuntamente como o intemperismo e a erosão na dinâmica de modelagem da superfície terrestre (Fernandes & Amaral, 2002 p. 139).

De acordo com a Defesa Civil, nesta região, o número de escorregamentos registrados é muito elevado. Esses eventos causam danos à sociedade . As intervenções humanas no ambiente são mais um agravante nesse processo, devido à retirada da cobertura vegetal e a instalação de faixas de dutos, estradas e edificações em áreas de risco como encostas íngremes e sopés de morros.

A área de estudo faz parte da região geomorfológica denominada Província Costeira, dividida por Almeida (1964) em Serranias Costeiras e Zona da Baixada Litorânea. Na área de estudo as planícies possuem ocorrência restrita distribuídas por um litoral bastante recortado, onde são freqüentes as enseadas e praias. A costa é abruptamente interceptada pela borda oriental do Planalto Atlântico com ocorrência de pontões rochosos perpendiculares a direção geral desta estrutura, os quais favorecem a formação de baías.

O forte controle estrutural na área e os processos de sedimentação quaternária são considerados os fatores responsáveis pelo desenvolvimento da morfologia da região.

Segundo Almeida (1969) a ação dos movimentos neotectônicos, representada pelos movimentos de blocos de falhas, é responsável pelo desenvolvimento de rifts e soerguimento da Serra do Mar e Mantiqueira. Esses movimentos ocorreram basicamente ao longo de antigas linhas de fraqueza do Pré-cambriano, com direção predominante leste-nordeste determinando a linha de costa atual.

Esta área encontra-se totalmente inserida no Embasamento Cristalino em trecho do cinturão de cisalhamento transcorrente Paraíba do Sul. Com relação à litologia da região serrana, destaca-se a ocorrência de rochas polimetamórficas de idade arqueana (migmatitos, gnaisses, granito-gnaisses, biotita gnaisses), granitóides foliados do proterozóico superior, rochas cataclásticas cambro-ordovicianas e intrusões básicas localizadas, de idade mesozóica (geralmente na forma de diques).

## 1.2 Objetivos

Este projeto de pesquisa teve como objetivo geral analisar a suscetibilidade ambiental a processos gravitacionais e erosivos para a faixa de dutos Osplan/Osvat, mediante a integração das cartas de unidades geoambientais, análise morfoestrutural e análise morfotectônica.

E os objetivos específicos de:

1. Aplicação e análise das técnicas de sensoriamento remoto na compartimentação da área de estudo dividindo a em zonas e unidades geoambientais;
2. Interpretar as principais deformações tectônicas da área e suas respectivas estruturas: lineamentos estruturais, sistemas de juntas, zonas de variação de traços de juntas (máximos 1 e 2);
3. Determinar os baixos e altos estruturais e suas associações com a topografia.

### 1.3 Justificativas

Essa pesquisa justifica se pela crescente demanda por estratégias de mapeamento que comprovem eficiência na detecção de eventos geodinâmicos erosivos e gravitacionais que possam afetar obras de engenharia causando prejuízos a sociedade, principalmente como no caso da faixa de dutos OSVAT/OSPLAN localizada em ambiente escarpado na Serra do Mar. Do mesmo modo que justifica se pela contribuição como estratégia ao planejamento do meio físico, consistindo esta na segunda linha de pesquisa do programa de pós-graduação em geociências e meio ambiente.

## II. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Localização

A área de estudo (Figura 1) compreende as Folhas Topográficas Pico do Papagaio, Caraguatatuba, Maresias e São Sebastião e está localizada entre as coordenadas 23°30′/45°45′e 24°00′/45°15′ no estado de São Paulo, dentro do Planalto Atlântico e da Província Costeira.

As principais vias de acesso a área de estudo são as Rodovia Rio-Santos(BR 101/SP 55) e a Rodovia dos Tamoios (SP 099). Existe também como alternativa de acesso ao duto OSVAT/OSPLAN a estrada não pavimentada que liga Salesópolis a Caraguatatuba.

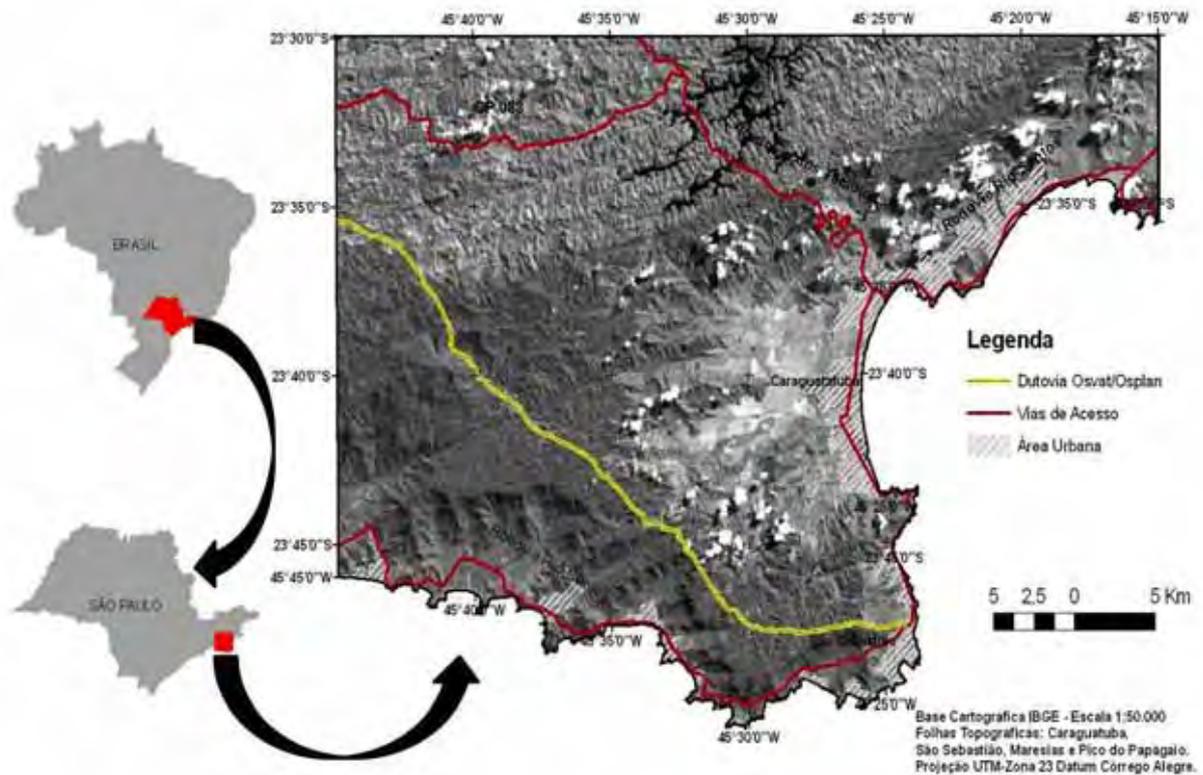


Figura 1- Localização da área de estudo e da faixa de dutos Osvat/Osplan.

O trecho da faixa do polidutos Osvat/Osplan mapeado possui aproximadamente 39 km de extensão. Esta faixa é considerada de grande importância econômica, pois transporta o maior volume de hidrocarbonetos do Brasil, se estendendo do Terminal de São Sebastião - considerado o maior da América Latina- as refinarias do Planalto Atlântico Paulista.

## 2.2 Terminal Marítimo Almirante Barroso (TEBAR)

O Terminal Aquaviário de São Sebastião é operado pela empresa Petrobrás Transpetro S.A. e visa atender as refinarias do estado de São Paulo: Replan, Revap, Recap e RPBC. A implantação do Terminal Marítimo Almirante Barroso (TEBAR) - inaugurado em 1969 - ocorreu devido à vocação do Canal de São Sebastião, que possui uma profundidade de até 25 metros o que permite a circulação de grandes navios.

Pelo TEBAR passa cerca da metade do petróleo bruto que entra no país e este também detém o título nacional de maior movimentador de carga líquida (SMA - São Paulo, 1996).

O petróleo após ser processado, transforma-se em derivados como gasolina, diesel, nafta e óleo combustível entre outros produtos, sendo então distribuído por entre as diversas bases da Petrobras e também de outras companhias envolvidas com o armazenamento e distribuição destes produtos, localizadas em todo o estado, formando uma extensa malha de dutos. Na faixa de dutos estudada estão instalados quatro dutos, os quais são fundamentais ao transporte de hidrocarbonetos no país. No quadro dois, pode-se observar detalhes referentes a esses dutos.

DUTO	Dimensão	Operação	Produtos	Extensão	Trecho	
<b>OSPLAN I</b> Oleoduto do Planalto	24'	Início 1973	Produtos claros	32,5 Km	Terminal de São Sebastião	Base intermediária de Rio Pardo
			Produtos claros	49,7 km		Base intermediária de Rio Pardo
<b>OSPLAN II</b> Oleoduto São Sebastião/Re finaria do Planalto (REPLAN)	18'	Início 1991	Produtos claros	153,5 km	Terminal de São Sebastião	Refinaria do Planalto (REPLAN)
<b>OSVAT I:</b> Oleoduto São Sebastião/Va le do Paraíba	42'	Início 1978	Óleo bruto	34,4 km	Terminal de São Sebastião	Rio Pardo
Os dutos estão enterrados a uma profundidade média de 1,5 m						

Quadro 2- Detalhes dos dutos existentes na faixa estudada. Fonte: CETESB.

### 2.3 Parque Estadual da Serra do Mar

A faixa de duto OSVAT/OSPLAN percorre o a Unidade de Conservação do Parque Estadual da Serra do Mar (Figura 2) criada pelos Decretos Estaduais 10.251, de 30/08/1977, e 13.313, de 06/03/1979. Esta unidade é administrada pelo Instituto Florestal (IF). O Parque Estadual da Serra do Mar possui 315 mil hectares, desde a divisa de São Paulo com o Rio de Janeiro, até o município de Itariri no sul do Estado, passando por toda a faixa litorânea, o parque representa a maior porção contínua preservada de Mata Atlântica do Brasil.

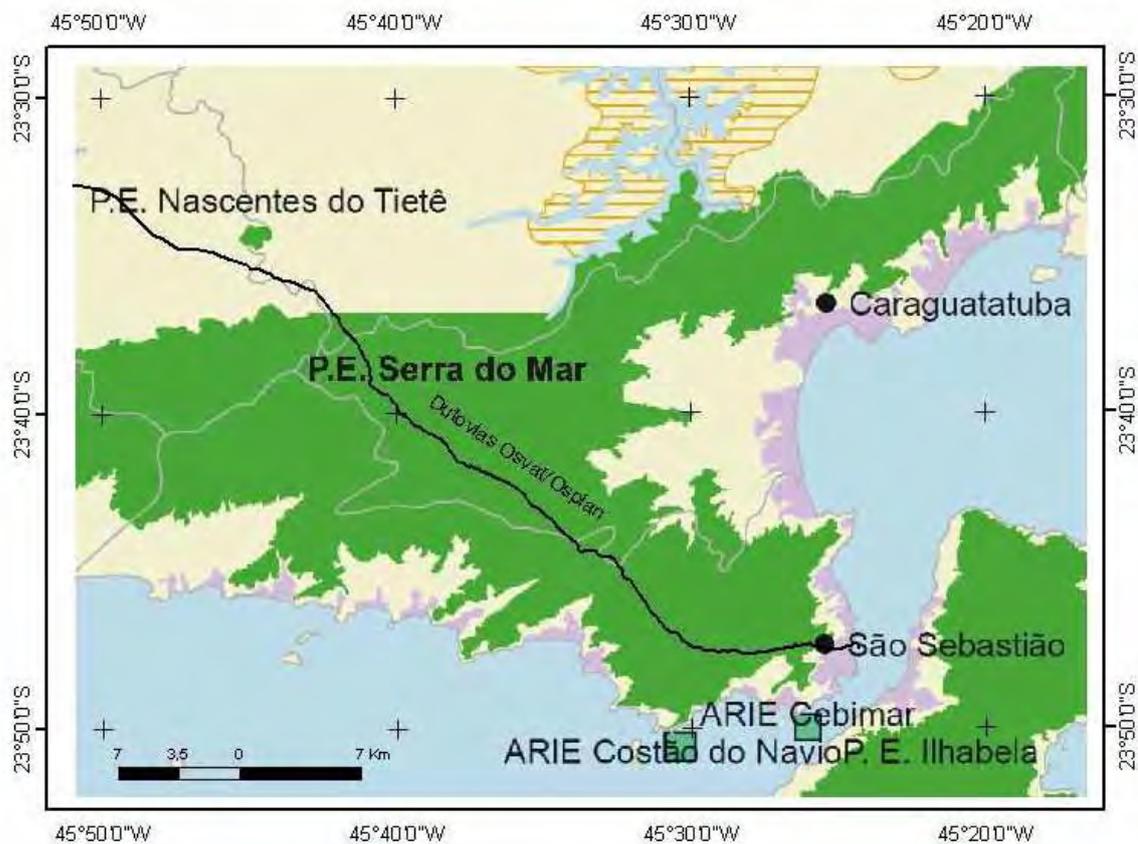


Figura 2- Parque Estadual da Serra do Mar-Trecho do núcleo Caraguatatuba. (Fonte: Estado de São Paulo – SMA).

Os parques são áreas destinadas a resguardar atributos excepcionais da natureza tem como finalidade a proteção integral da flora, da fauna e das belezas naturais conjuntamente como sua utilização para objetivos educacionais, recreativos e científicos, conforme a lei federal 4.771, de 15 de setembro de 1965, artigo 5º, código florestal (SMA - São Paulo, 1996).

Conforme a SMA - São Paulo (1996), os parques nacionais brasileiros foram regulamentados pelo decreto federal número 84.017, de 21 de setembro de 1979, e os parques do Estado de São Paulo pelo decreto estadual número 25.341 de quatro de junho de 1986. Esses decretos estabelecem as normas para a elaboração de estudos para o manejo ecológico adequado, através de zoneamento.

## 2.4 Vegetação

A vegetação da área de estudo é genericamente denominada de Mata Atlântica. As condições ambientais resultantes do posicionamento das escarpas da Serra do Mar, paralelamente a linha de costa determinam a existência dessa vegetação, pois as escarpas atuam como obstáculo às massas de ar oceânicas úmidas, que ao resfriarem precipitam em forma de nevoeiros ou chuvas. A variação na altitude - do nível do mar a mais de 1000 metros - da pluviosidade de 1500 mm a 4500 mm e da temperatura favorecem a instalação de uma grande biodiversidade de espécies (SMA - São Paulo, 1996).

A constituição de Floresta Ombrófila Densa (Floresta Pluvial Tropical) está relacionada a fatores climáticos tropicais como as elevadas temperaturas (médias de 25°) e a alta precipitação, bem distribuídas durante o ano (de 0 a 60 dias secos), o que determina uma situação bioecológica praticamente sem período seco. Esta vegetação é subdividida em cinco formações ordenadas, segundo hierarquia topográfica que reflete fisionomias diferentes de acordo com as variações ecotípicas das faixas altimétricas. Estes variam 1° centígrado para cada 100 metros de altitude, dividindo se em: aluvial, das terras baixas, subtropical, montana e alto-montana. (SMA - São Paulo, 1996).

## 2.5 Geologia

### 2.5.1 Complexo Costeiro

Toda a área de estudo encontra se inserida no Complexo Costeiro, genericamente representado por formações geológicas do Pré-Cambriano e Cenozóico. Este se estende ao longo de toda a costa sudeste do Brasil. A geologia desta área é marcada por redes de zonas de cisalhamento transcorrentes, que estão associadas à evolução do Cinturão de Dobramento Orogênico Ribeira, ligado a Orogênese Brasileira-Pan-Africana (MAFFRA, 2000). A área de estudo localiza-se

a sudeste do Cinturão Ribeira, é transectada de oeste para leste pelas seguintes estruturas: Zona de Cisalhamento Bairro do Alto, Zona de Cisalhamento Camburu e Sistema de Cavalgamento São Sebastião (Figura 3).

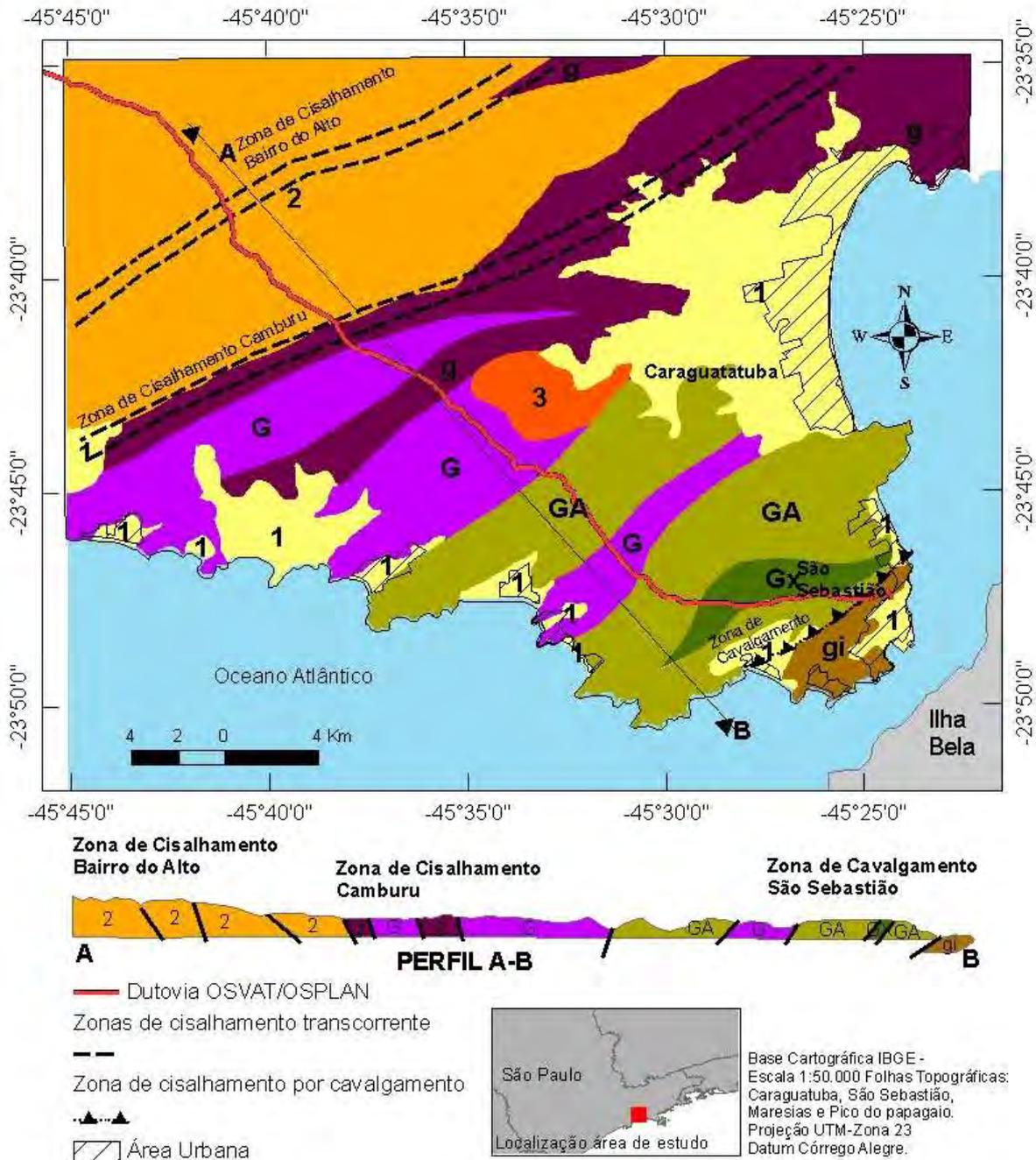


Figura 3 - Mapa geológico e Perfil esquemático do planalto de Juqueriquerê e adjacências. Modificado de Campanha, Ens & Ponçano, 1994.

**1-** Sedimentos Quaternários; **2-** granitóides gnáissicos (Granito Pico do Papagaio); **3-** metagabros, metadioritos e enderbitos parcialmente migmatizados (Complexo Bairro do Marisco); **g-** granitóides gnáissicos equigranulares, oftálmicos e nebulíticos; subordinadamente gnaisses, xisto e anfibolitos; **gi-** leucogranito gnáissico com granada; **G-** biotita, gnaisses e migmatito frequentemente com granada e silimanita; subordinadamente anfibolitos, kinzigitos, corpos nebulíticos e rochas cálcio-silicáticas; **GA** biotita gnaisses e migmatitos com frequente intercalações de anfibolitos; **GX-** biotita gnaisses e xistos com intercalações de quartzitos.

O cinturão de cisalhamento transcorrente Paraíba do Sul de orientação NE-SW sofreu uma transpressão dextral enquanto que a porção norte-sul apresenta um sistema de cavalgamento essencialmente frontal. Todo este quadro deu origem a uma condição estrutural complexa gerando domínios de deformação tangencial, com foliação com mergulhos moderados e lineações suaves e indicações cinemáticas de cavalgamentos para NW e um domínio de deformação transcorrente. As estruturas regionais apresentam um trend NE, e correspondem a fatias de cisalhamento dúcteis, sub-horizontais para o noroeste, seguidas por uma pilha de cavalgamentos também para o noroeste, que são por sua vez superpostos por cinturões de cisalhamentos transcorrentes. São comuns estruturas do tipo em flor (regionais), extrusão lateral (MAFFRA, 2000 apud EBERT; HASUI, 1998).

Essa tectônica caracterizada por blocos falhados e desnivelados permitiu a formação da Serra do Mar, onde os processos erosivos passaram a atuar intensamente a partir do Jurássico Superior, com a Reativação Wealdeniana (GARDA, 1995 apud ALMEIDA, 1967).

Na região de São Lourenço foram reconhecidas na porção NW rochas granitóides gnáissificadas (Granito Pico do Papagaio) e ao Sul, separado pela zona de cisalhamento Camburu um conjunto de rochas predominantemente paraderivadas, migmatizadas e rochas metabásicas (CAMPANHA; ENS, 1996).

A falha do Camburu esta inserida numa zona de cisalhamento pré-cambriana e foi reativada durante o Juro Cretáceo, com a intrusão de espessos diques de rochas básicas, com o abatimento do planalto do Juqueriquerê no Terciário, deu se origem intercalações milimétricas a métricas de brechas cataclásticas silicificadas (CAMPANHA; ENS, 1996).

Conforme Campanha & Ens (1996, p. 44) "a Falha do Camburu constitui uma faixa de dezenas a centenas de metros de espessura de rochas miloníticas, ultramiloníticas, blastomiloníticas e protomiloníticas, predominantemente quartzo feldspáticas".

As rochas ígneas existentes na área incluem três tipos distintos: rochas granulíticas, rochas graníticas de composição e texturas variadas e rochas

metabásicas. As rochas granulíticas, principalmente as charnockíticas, tem sido exploradas com finalidades ornamentais de revestimento, sendo conhecida no mercado como "Granito Verde Ubatuba" (JORGE, 2004).

De acordo com Almeida, 1963 apud Garda, 1995 a reativação Wealdeniana teve início no Jurássico Superior onde ocorreram dois eventos magmáticos em fases distintas, o primeiro, de caráter básico e intermediário, é representado por diques e sills, e o segundo é representado por stocks ou chaminés e diques de rochas alcalinas.

## 2.5.2 Unidades Litológicas

### 2.5.2.1 Granito Pico do Papagaio

O granito Pico do Papagaio aflora entre as Zonas de Cisalhamento do Bairro do Alto (a oeste) e a Zona de Cisalhamento Camburu (a leste) este consiste em um monzogranito com foliação bem desenvolvida (MAFFRA, 2000).

### 2.5.2.2 Augen Gnaiss Juqueí

A unidade de Augen Gnaiss Juqueí localiza-se a leste da Zona de Cisalhamento Camburu e estende-se a leste até um contato transicional com o complexo Gnáissico/Migmatítico, possui aproximadamente 8 km de extensão. Esta unidade está exposta no vale do rio Camburu, onde se encontra em contato tectônico com o granito Pico do Papagaio. Composicionalmente o Augen Gnaiss é um álcali-feldspato granito.

### 2.5.2.3 Complexo gnáissico migmatítico

O complexo gnáissico migmatítico é a maior e mais heterogênea das unidades litológicas, pois, ocupa 60% da área de estudo. Esta unidade grada de uma biotita gnaiss bandada a típicos migmatitos com texturas estromática e nebulíticas. Ocorre desde o contato transicional com a unidade de augen-gnaiss na praia de Juqueí e Guaecá onde está em contato tectônico com o Leucogranito Guaecá.

#### 2.5.2.4 Granito Guaecá

Esta litologia ocorre na parte sudeste da área de estudo com um sheet granítico entre duas zonas de cavalgamento do Sistema de Cavalgamentos São Sebastião, estende se desde as praias de Guaecá e Arrastão até a praia de Guarapeçaba e o bairro Topolândia. Composicionalmente corresponde a um monzogranito a granodiorito, com quartzo, plagioclásio, microclínio, biotita, muscovita e granada.

#### 2.5.2.5 Diques

Durante o período Juro-Cretácico a área foi afetada por intensa atividade magmática relacionada à abertura do Oceano Atlântico (GARDA, 1995) esta gerou rochas de caráter toleíticos (diabásios e microdoritos) e de caráter alcalino (lamprófilos) (MAFFRA, 2000).

Segundo Mafra (2000) a orientação dos diques de diabásio afaníticos e lamprófilos é N50E e eles ocorrem principalmente entre as cidades de São Sebastião e Caraguatatuba.

#### 2.5.2.6 Coberturas Cenozóicas

As coberturas sedimentares cenozóicas têm sua constituição regida pelos ambientes característicos da interface continental-marinha, o que implica grande variação de áreas fontes. Os depósitos arenosos marinhos se encontram dispostos em baixos terraços, sendo caracterizados por estruturas em cordões de regressão em superfície. Nas áreas próximas as encostas da Serra do Mar, ocorrem depósitos areno-siltico-argiloso indiferenciados que correspondem a aluviões antigos, reconhecidos como terraços fluviais com cascalheiras elevadas. Nas várzeas dos maiores rios costeiros os materiais tem constituição variada, predominam formações mais arenosas associadas aos rios que cortam as formações marinhas (JORGE, 2004).

### 2.6 Geomorfologia

A Serra do Mar teve sua origem relacionada a um soerguimento entre o Cretáceo Superior e o Terciário em evento tectônico paralelo a crosta, com flexuras

monoclinais e falhamentos, que desde então, vem recuando sob a ação da erosão (ALMEIDA, 1964). Possui depósitos quaternários elúvio-colúvionares de natureza areno-argilosa associadas às encostas, ou seja, as Suítes Graníticas das fácies Cantareira e ao Complexo Costeiro formado por rochas graníticas-gnáissicas. Nessa região as discontinuidades, como juntas e falhas antigas, servem para a infiltração da água e desenvolvimento de profundos mantos de alteração.

Apresenta um conjunto de rochas pré-cambrianas com diferentes resistências (granitos, gnaisses e xistos), fortemente estruturadas ou não. Segundo De Martonne (1943), a diferenciação do relevo e solo pode ser atribuída no Brasil Tropical Atlântico a uma desigual resistência das rochas cristalinas. A própria série Arqueana que forma as Serras do Mar e Mantiqueira, não é um todo homogêneo e possui freqüentemente granitos menos resistentes do que os gnaisses.

Segundo Ab'Saber (1955), a morfogênese do litoral de São Paulo iniciou-se no fim do Cretáceo ao Eoceno, período de ocorrência dos grandes falhamentos no sudeste, e responsáveis pela gênese das principais escarpas de falha do Planalto Atlântico.

A área de estudo é chamada de Província Costeira por Almeida (1964), e subdividida nas zonas da Serrania Costeira (Subzona Serra do Mar), Baixadas Litorâneas. Uma porção da área situa-se no Planalto Atlântico mais especificamente no Planalto Paulistano, este é limitado ao sul pela Serra de Juqueriquerê e pela Serra do Mar cujas cristas têm marcada inclinação de rumo NE e SW. Na Serra de Juqueriquerê as altitudes ultrapassam os 1100 metros (Pico do Papagaio – 1183 metros).

Segundo Cruz (1974), a direção da Serra do Mar na área de estudo, comanda a linha de costa e depende da maior ou menor aproximação da serra com o mar. Quando a direção da costa é NE-SW, as linhas de costa caracterizam-se como altas e maciças, com costões e praias de tombo. Quando a direção da linha de costa, é N-S, com reentrâncias, com enseadas e praias mais calmas.

Conforme o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo do IPT(1981) , o planalto de Juqueriquerê possui um desnivelamento de 200 metros abaixo do planalto de Paraitinga e 500 metros abaixo do planalto Paulistano.

Na região do planalto de Juqueriquerê foram reconhecidos três setores de planalto com diversos estágios de entalhamento pelos sistemas de drenagem atuais e formados por relevos de topos subnivelados em diferentes cotas altimétricas constituindo os Planaltos do Moraes e Lourenço Velho mais elevados e o planalto de Juqueriquerê mais rebaixado. O planalto de Juqueriquerê situa-se no promontório que se destaca no litoral norte do estado de São Paulo, defronte a Ilha de São Sebastião (CAMPANHA, ENS e PONÇANO 1994).

Conforme Campanha; Ens e Ponçano, (1994) a Falha do Camburu limita o planalto de Juqueriquerê dos planaltos Paulistano e Paraitinga, reforçando a idéia da origem tectônica para esse desnivelamento. A origem deste último está relacionada a abatimento de blocos (ALMEIDA 1964). Por outro lado os planaltos mais elevados são constituídos por rochas granitóides enquanto o planalto do Juqueriquerê é sustentado por gnaisses e migmatitos, portanto pode-se também considerar que tal desnivelamento seja devido a erosão diferencial.

O planalto do Moraes é o mais preservado atingindo altitudes próximas a 1300 metros é drenado essencialmente pelas cabeceiras do rio Tietê e seus tributários, enquanto o planalto do Lourenço Velho, cujos topos estão em torno de 900 metros de altitude, compreendem a bacia do Rio Lourenço Velho e do Ribeirão dos Prazeres. Já planalto de Juqueriquerê apresenta altitudes em torno 600 e 750 metros e apresenta limite marcadamente retilíneo em relação ao planalto de São Lourenço coincidente com a zona de cisalhamento pré cambriana reativada do Camburu (CAMPANHA; ENS e PONÇANO, 1994).

Cruz (1974) divide quatro compartimentos para área de estudo. O primeiro é dos planaltos serranos que possuem formas mamemoladas com espesso manto de regolito e restos de detritos mais grosseiros sob a forma clássica de linhas de pedras. As escarpas costeiras que são áreas de desgaste com grande dinamização das vertentes, com declives acima de 40% nos altos das escarpas, já nos patamares intermediários e rampas de desgaste apresentam encostas mais suaves. As planícies costeiras são áreas de deposição com menor dinamismo geomorfológico. A quarta unidade é linha de costa São Sebastião, esta desdobra-se no sentido W-E, em costões e pontas rochosas, intercaladas por pequenas planícies costeiras, predominam áreas de desgaste em contraposição às de acumulação.

As escarpas costeiras são predominantemente áreas de relevo de degradação, com grande dinamização geomorfológica e elevada influência estrutural, com patamares intermediários, rampas de desgaste e elevada densidade de drenagem (CRUZ,1974).

As escarpas segundo o IPT (1981), foram divididas em dois sistemas de relevo chamados Escarpas Festonadas, as quais são desfeitas em anfiteatros separados por espigões com topos angulosos e vertentes com perfis retilíneos, possuem alta densidade de drenagem e padrão subparalelo a dendrítico, com vales fechados. O segundo sistema de relevos constitui as Escarpas com Espigões Digitados compostas por grandes espigões lineares subparalelos, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos, drenagem de alta densidade com padrão paralelo-pinulado e vales fechados. Na área de estudo existem três setores de planaltos, subnivelados em diferentes cotas altimétricas, chamados Planalto do Moraes, Planalto do Lourenço Velho e Planalto do Juqueriquerê.

Segundo Campanha; Ens e Ponçano (1994) a evolução morfotectônica mais provável para a região é a seguinte: Primeiramente ocorre o desenvolvimento da superfície erosiva correspondente ao planalto do Moraes, entre o Cretáceo Superior e o início do Terciário. A seguir ocorre o soerguimento crustal e o desenvolvimento de nova superfície erosiva, correspondente ao Planalto de Lourenço Velho no Mioceno Médio. Após isso ocorre o abatimento parcial do planalto de São Lourenço Velho no Mioceno Superior, originando o Planalto de Juqueriquerê e finalmente ocorre uma atenuação dos processos tectônicos manifestada atualmente através da sismicidade característica da região. Na figura 4 podemos observar a atual disposição destes planaltos.

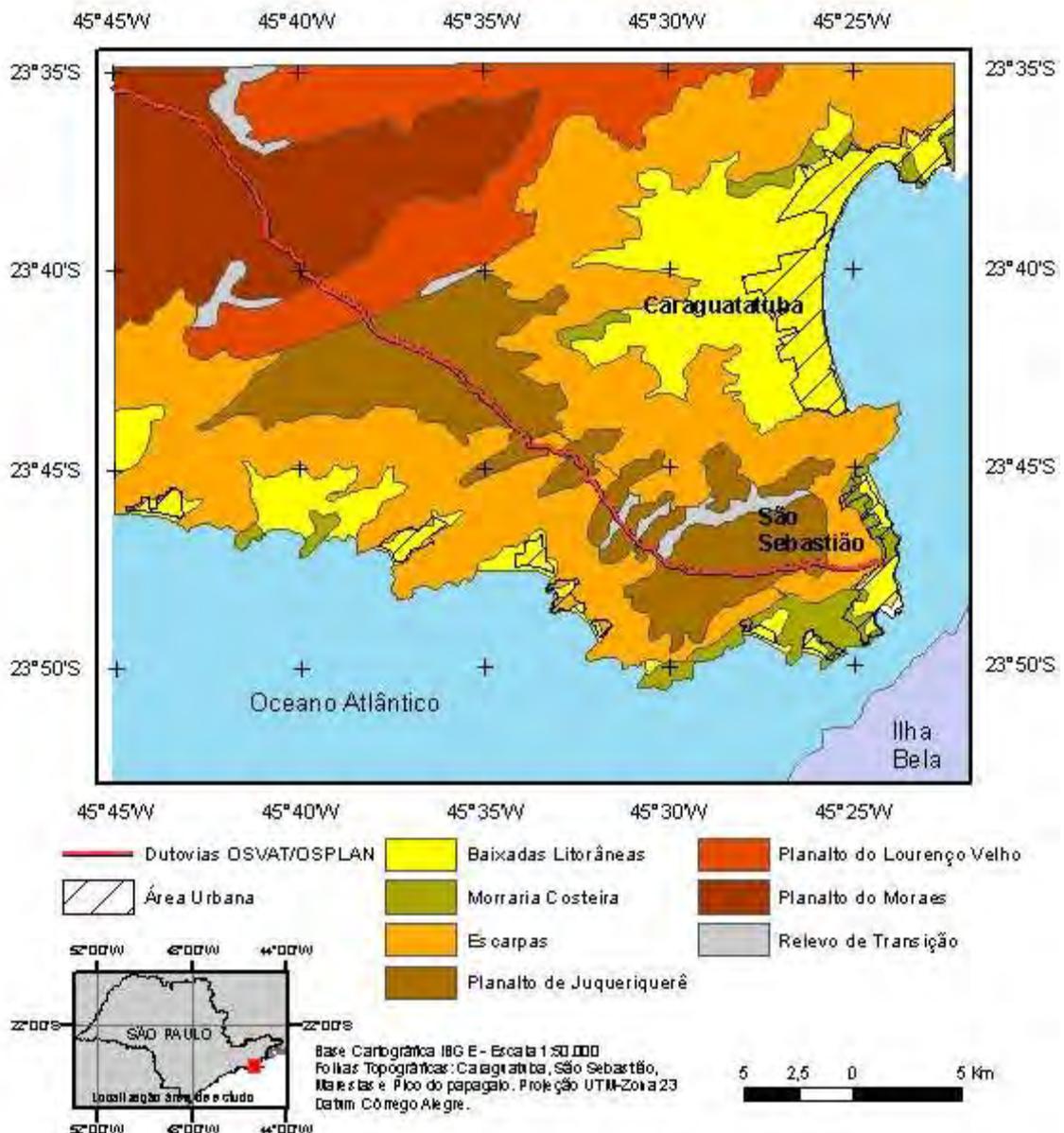


Figura 4- Mapa de compartimentos do relevo do Planalto de Juqueriquerê e adjacências. Compilado do IPT, 1981.

## 2.7 Solos

Conforme Oliveira (1999) na área de estudo ocorrem os seguintes solos:

- Cambissolos Háplicos em áreas de relevo bastante acidentado, variando de fortemente ondulado a escarpado. Tais solos apresentam elevada erodibilidade;
- Latossolos vermelho-amarelo em áreas de relevo menos acidentados, são solos em geral com boas propriedades físicas;

- Espodossolos ferrocarbonáticos localizados nas áreas de planície costeira, são solos essencialmente arenosos. A textura grosseira determina baixa retenção de água.

## 2.8 Clima

A área de estudo possui pelo menos um mês com temperatura média inferior a 18°C, no mês mais frio (junho ou julho) varia de 18 a 15°C. A temperatura média anual é quase sempre inferior a 22°C, variando principalmente entre 20°C e 18°C. No verão a média da temperatura é acima de 22 °C (NIMER, 1989).

Segundo Nimer (1989) a Serra do Mar em São Sebastião possui uma altura média de precipitação de 2500mm por ano, com concentração muito significativa das chuvas no semestre mais chuvoso (outubro a março) cerca de 70 a 80% da pluviometria anual. Esta forte concentração pluviométrica no semestre de verão decorre mais do fato de serem mais copiosas as chuvas nessa época do ano do que de sua frequência.

Os fatores estáticos estão intimamente ligados às condições geográficas de sua posição latitudinal e sua localização na borda ocidental atlântica. Essas posições lhe conferem grande incidência de radiação solar e evaporação devido à proximidade da superfície oceânica. Outro fator estático de grande importância para as elevadas precipitações nessa área é a sua topografia bastante acidentada.

“ Este caráter de sua topografia favorece as precipitações, uma vez que ela atua no sentido de aumentar a turbulência do ar pela ascendência orográfica. Notadamente durante a passagem de correntes perturbadas que em nossa área correspondem às frentes polares e as linhas de IT (Nimer, 1989)”.

Segundo Nimer (1989), a Serra do Mar, o Vale do Paraíba e a Serra da Mantiqueira estão orientados, paralelamente, no sentido WSW-ENE e situadas em níveis altimétricos tão bruscamente diferentes, que constituem um dos principais fatores responsáveis pela desigual distribuição de chuvas nessa área.

A FPA tem sua atuação bem mais freqüente no verão sendo a responsável pelas abundantes precipitações na região sudeste do Brasil e pelos aguaceiros de grande concentração/hora que nesta época do ano ocorrem com certa freqüência

nas áreas serranas e proximidades. As massas de ar atuantes no estado de São Paulo variam muito suas atuações durante o ano.

Na figura 5, podemos observar que durante o verão as massas de ar revezam bastante suas atuações no estado de São Paulo. Os choques entre essas massas (Equatorial continental, Polar atlântica, Tropical continental, Tropical atlântica e Equatorial atlântica) provocam as chuvas torrenciais características desse período. Já no inverno a atuação das massas polares se acentua diminuindo a atuação das massas equatoriais. Nesse período diminui a instabilidade climática na região e o volume de chuvas.

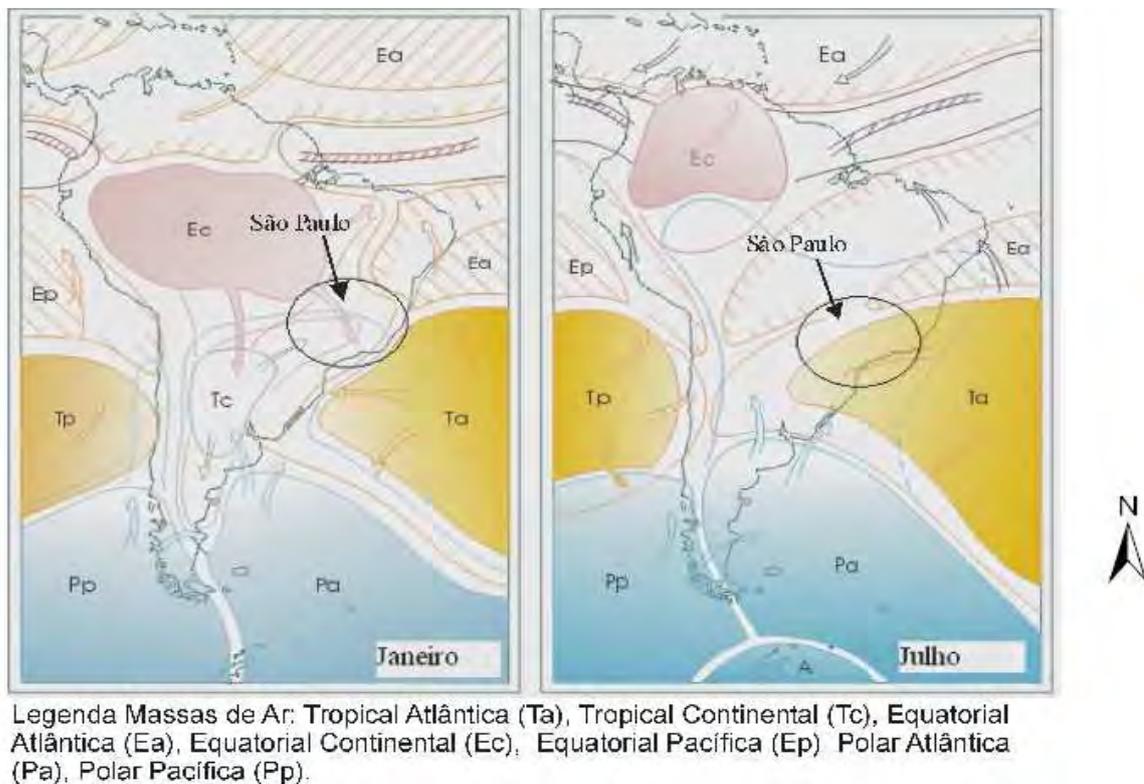


Figura 5- Atuação das massas de no Estado de São Paulo. Fonte: Monteiro, 2000.

Nas latitudes baixas (Zona Tropical), o traço mais marcante do ritmo do clima é definido por duas estações: a chuvosa e a seca. Pela sua posição latitudinal (cortada pelo trópico) e em relação aos sistemas de circulação atmosférica (situadas sob a trajetória preferida pelas correntes perturbadas de origem polar), a distinção entre as temperaturas máximas diárias registradas no verão e as mínimas no inverno é um fato climático que não se deve desprezar.

### III. ZONEAMENTOS AMBIENTAIS E GEOAMBIENTAIS

De forma geral o zoneamento é tido como uma forma de organização territorial através da sistematização detalhada dos aspectos ambientais relevantes a determinado fim. Na década de 1960, o termo zoneamento foi introduzido no Brasil devido à necessidade de regularização da situação fundiária.

Segundo o IBAMA (1994), zonear é um conceito geográfico que significa dividir determinado local de acordo com objetivos estabelecidos, origem dos indicadores e interações aplicadas na análise.

Para Ross (1998), o Zoneamento é um suporte para o desenvolvimento estratégico, calcado na ordenação físico-territorial, seguindo os princípios básicos de valorizar as potencialidades e fragilidades dos sistemas ambientais naturais.

De acordo com Becker & Egler (1997) a unidade básica do zoneamento é definida como “uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-las de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada de outras unidades territoriais. Devem possuir uma contigüidade espacial, serem georreferenciadas e pertencerem a uma classificação tipológica

De acordo com Kobiyama et al (2006) o zoneamento é uma setorização territorial, de acordo com as diversas vocações e finalidades de uma determinada área, com o objetivo de potencializar o seu uso sem comprometer.

O projeto RADAM (Radar da Amazônia), finalizado na década de 1970, mapeou toda a Amazônia legal com base na sistematização detalhada de aspectos como geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, solos, clima e hidrografia (Gutberlet, 2002).

A gestão do território é uma prática indispensável para efetuar o controle das intervenções no meio ambiente e suas maiores funções são o zoneamento, o monitoramento dos efeitos do desenvolvimento, os problemas de degradação ambiental e o fortalecimento das normas embutidas na legislação, sendo o zoneamento “o instrumento mais importante” (Becker & Egler, 1997).

No ano de 1988 o governo lançou o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) com o objetivo de disciplinar a ocupação e a exploração racionais da Amazônia Legal fundamentadas no ordenamento territorial (MMA-SAE, 1997).

A SMA - São Paulo (1996) elaborou o macrozoneamento do litoral norte visto as necessidades de estratégias para o gerenciamento costeiro desta região.

Atualmente busca-se integrar dados de vários tipos em bancos de dados em busca de modelos ambientais que permitam a previsão e controle dos escorregamentos. Com o objetivo de identificar essas áreas naturalmente vulneráveis à ocorrência de movimentos de massa Crepani & Medeiros (2001), montaram um banco de dados relacional contendo informações relativas à Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Pluviometria e Vegetação e Uso do solo do município de São Sebastião.

Cologna, 2003 em trabalho desenvolvido nos municípios de São Sebastião e Caraguatatuba gerou mapas de suscetibilidade a escorregamentos através da integração de informações geoambientais.

Ohara, 1995 desenvolveu análise das coberturas de alteração intempéricas em conjunto com as informações litológicas, fisiográficas e morfoestruturais de regiões com relevos movimentados com fins de estudos geoambientais.

De acordo com Jiménez-Rueda, Landim e Mattos (1995), o zoneamento geoambiental consiste no exame sistemático de uma região com a finalidade de obter informações sobre as variáveis litológicas, morfoestruturais, microclimáticas, fisiográficas e coberturas/unidades de alteração intempérica, definindo com isto as zonas geoambientais, que apresentam as potencialidades de suporte do meio físico de acordo com os condicionadores naturais, em função dos modificadores sócio-econômicos.

Muitos trabalhos de zoneamentos vêm sendo produzidos com técnicas de sensoriamento. Ohara (1995) desenvolveu zoneamento geoambiental da região do alto-médio Paraíba do Sul (SP). Da mesma forma, Franzoni (2000) organizou zoneamento para avaliação de traçado e manutenção de rede viária na Ilha de Santa Catarina.

Em seu trabalho Vedovello (2000) realizou zoneamento geotécnico a partir da compartimentação fisiográfica, que trata se de dividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas homogêneas. Cardoso (2002) utiliza se de técnicas de sensoriamento remoto na compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe. Crisóstomo Neto (2002) elaborou mapeamento geoambiental por imagens de satélite do Vale do Paraíba do Sul.

Jiménez-Rueda et al (2005) desenvolveram mapeamento geoambiental de toda extensão do gasoduto Bolívia-Brasil em território brasileiro utilizando o princípio metodológico de fotointerpretação das imagens orbitais do ETM+/Landsat. Caetano (2006) organizou uma sistemática de mapeamento que busca correlacionar caracterizações geotécnicas e geoambientais em um único produto cartográfico.

#### IV. MATERIAIS E MÉTODO

No fluxograma (figura 6) estão hierarquizadas todas as etapas do trabalho de pesquisa, as quais serão descritas na sequência.

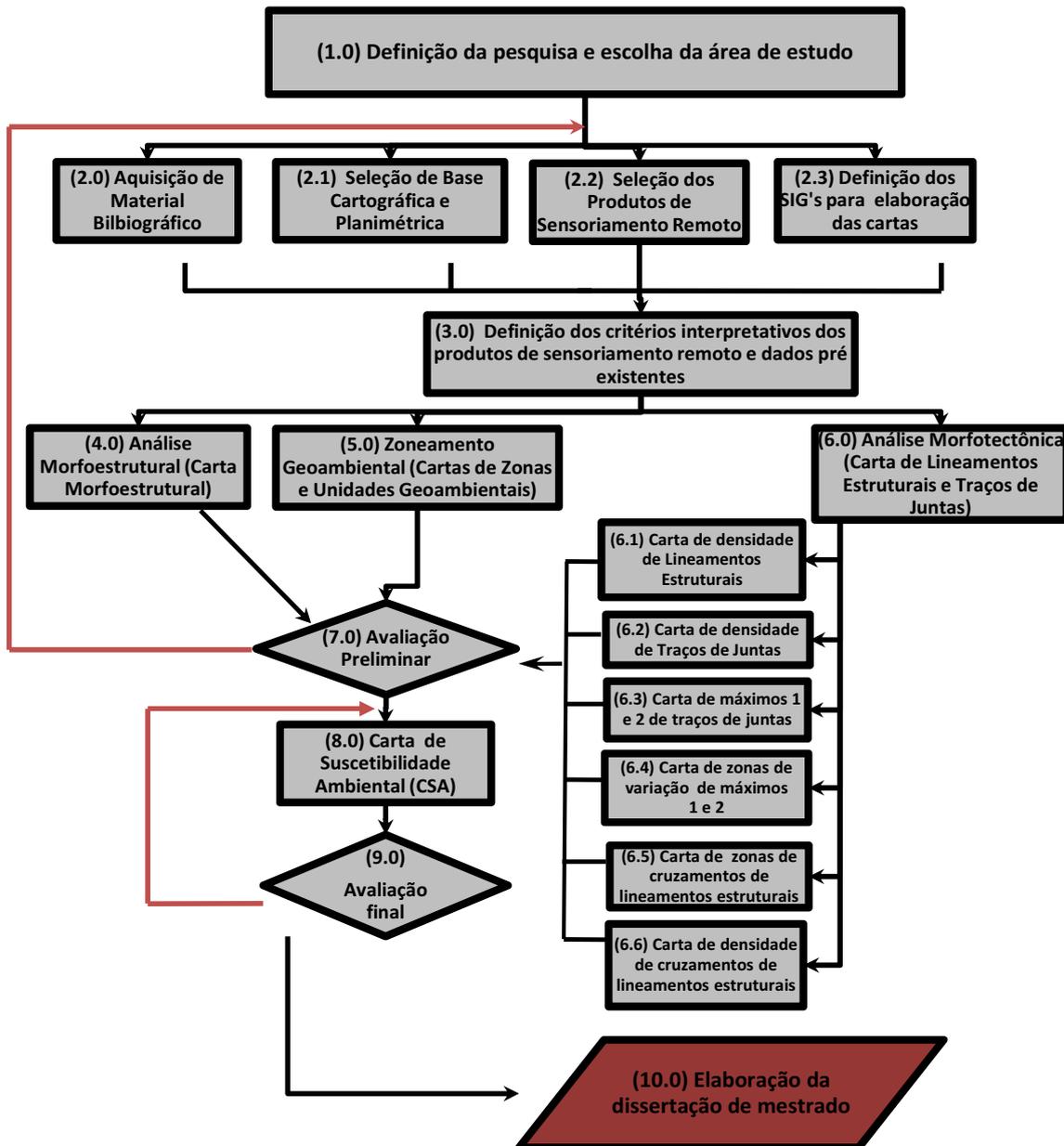


Figura 6- Fluxograma de atividades realizadas no desenvolvimento do projeto.

Abaixo foram descritas cada uma das etapas necessárias para obtenção da dissertação de mestrado.

#### 4.1 Definição da pesquisa e escolha da área de estudo (1.0)

Esta pesquisa foi motivada pela demanda crescente de estratégias eficientes de mapeamentos em faixas de obras lineares como as dutovias, rodovias e linhas de transmissão no sentido de controle, gerenciamento e previsão de áreas mais suscetíveis a eventos geodinâmicos que possam atingir a essas obras e conseqüentemente a sociedade e ao meio ambiente.

Neste contexto para estudo de caso definiu se o poliduto Osvat/Osplan localizado em na Serra do Mar nos municípios de São Sebastião, Caraguatatuba, Salesópolis e Paraibuna. Esta faixa de polidutos pode ser considerada como a mais importante do país, pois transporta uma elevada quantidade de hidrocarbonetos entre os planaltos paulistas e a terminal de São Sebastião, ou seja, um acidente nesta faixa que interrompesse o transporte destes produtos poderia causar um sério comprometimento na indústria de todo país.

#### 4.2 Aquisição do material bibliográfico (2.0)

Os materiais bibliográficos foram adquiridos em bibliotecas e na internet compreendendo aspectos como geologia, geomorfologia, pedologia, interpretação de imagens, zoneamento geoambiental, sensoriamento remoto, entre outros. Esses materiais serviram como apoio ao desenvolvimento do trabalho, pois embazaram os procedimentos escolhidos e as discussões realizadas.

#### 4.3 Seleção de base cartográfica e planimétrica (2.1)

A base de dados cartográfica e planimétrica empregada foi obtida do projeto Concepção, Desenvolvimento, Implementação, Aplicação e Elaboração de cartas SAO: Litoral Paulista e da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponível em [www.ibge.gov.com.br](http://www.ibge.gov.com.br), ambas em formato shapefile.

As folhas topográficas em formato tiff na escala 1:50.000, que foram obtidas no site do IBGE, estão detalhadas no quadro 3.

FOLHAS	COORDENADAS DE CANTO		Proj./DH/DV*	Data
<u>Pico do Papagaio</u>	23°30'/45°45'	23°30'/45°30'	UTM/CA/IMB	1974
SF-23-Y-D-V-2	23°45'/45°45'	23°45'/45°30'		
<u>Caraquatatuba</u>	23°30'/45°30'	23°30'/45°15'	UTM/CA/IMB	1976
SF -23-Y-D-VI-1	23°45'/45°30'	23°45'/45°15'		
<u>Maresias</u>	23°45'/45°45'	23°45'/45°30'	UTM/CA/IMB	1973
SF-23-Y-D-V-4	24°00'/45°30'	24°00'/45°45'		
<u>São Sebastião</u>	23°45'/45°30'	23°45'/45°10'	UTM/CA/IMB	1969
SF -23-Y-D-VI-3	24°00'/45°30'	24°00'/45°15'		
* DH – Datum Horizontal; DV – Datum Vertical; UTM – Universal Transverse Mercator; CA – Córrego Alegre/MG; IMB – Imbituba/SC.				

Quadro 3- Folhas topográficas utilizadas.

#### 4.4 Seleção dos produtos de sensoriamento remoto (2.2)

Nesta etapa procurou se selecionar os produtos de sensoriamento remoto a serem utilizados na pesquisa. Foram empregadas neste trabalho as imagens Landsat 7 ETM+ (bandas 1,2,3,4,5,6,7 e pancromática) órbita/ponto 218/76, de 26 de junho de 2000 com resolução espacial de 30m (bandas 1 a 7) e de 15 m (pancromática). Estas imagens foram retiradas no site [www.umiacs.umd.edu](http://www.umiacs.umd.edu) da University of Maryland Institute of Advanced Computer Studies. E as imagens do satélite CBERS 2 / CCD (bandas 1, 2, 3, 4, 5) órbita/ponto 153/126 de 29 de julho de 2005 e órbita/ponto 153/127 de 23 de agosto de 2006, com resolução de 20 metros, selecionadas no catálogo de imagens do INPE ([www.dgi.inpe.br/cdsr](http://www.dgi.inpe.br/cdsr)).

O registro ou georreferenciamento dessas imagens foi feito com a base de dados topográficos digitais obtidos do projeto Concepção, Desenvolvimento, Implementação, Aplicação, Elaboração de cartas SÃO: Litoral Paulista.

O Sensoriamento Remoto é uma técnica muito difundida atualmente na execução de mapeamentos, pois permite a obtenção de informações sobre os objetos sem o contato físico com os mesmos, através da detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante, por eles refletido ou emitido.

Para a compartimentação das unidades geoambientais foi utilizada a banda pan do satélite Landsat 7, devido a sua maior resolução e também foi utilizada a banda 4 do satélite Cbers, devido a cobertura de nuvens existente a oeste da faixa de dutos nas imagens Landsat. Nessa região é muito comum a existência de cobertura de nuvens determinada pela barreira orográfica oferecida pela Serra do Mar.

Foram utilizadas as ortofotos cedidas pela Secretaria do Meio Ambiente de Estado de São Paulo – Instituto Florestal (SÃO PAULO, 2000), em escala 1:5.000.

#### 4.5 Definição dos programas utilizados na elaboração das cartas (2.3)

Os programas empregados na elaboração das cartas básicas e analíticas foram o Autocad 2004 da Autodesk, utilizado na vetorização de dados o ArcMap 9 da ESRI e Spring 5 do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) utilizados no georreferenciamento dos dados, na manipulação das imagens de satélite (contraste e segmentação) e implementação de banco de dados geográficos.

As imagens de satélite Cbers foram transformadas do formato tiff para grib no módulo Impima do programa Spring. O registro ou georreferenciamento das imagens foi executado no programa Spring utilizando a base cartográfica vetorial do projeto Concepção, Desenvolvimento, Implementação, Aplicação e Elaboração de Cartas SÃO: Litoral Paulista e da Base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). As imagens utilizadas foram realçadas em operação linear no programa Spring, o que permite uma melhor distribuição dos níveis de cinza e conseqüentemente melhor interpretação.

Toda a base cartográfica para a elaboração da carta de Carta de Suscetibilidade Ambiental a processos gravitacionais e erosivos foi organizada através do Sistema de Coordenadas Geográficas, utilizando-se o *Datum South American* 1969 (SAD69). A projeção cartográfica definida para o Sistema de Banco de Dados Geográfico foi a Universal Transversa de Mercator (UTM), sendo a área de estudo pertencente ao fuso 23.

Para nomear os produtos obtidos foi utilizado o termo carta e não mapa, de forma a padronizar a utilização do termo durante todo o texto. A preferência desta denominação está relacionada à definição dada pelo IBGE ao termo carta que

segundo este se refere a uma representação plana em escala de média ou grande, com folhas articuladas e delimitadas de maneira sistemática, a qual permite avaliação precisa de direções, distâncias e localização de pontos e áreas, em concordância com o tipo de mapeamento realizado nesta pesquisa.

#### 4.6 Definição dos critérios interpretativos dos produtos de sensoriamento remoto e dados pré-existentes (3.0)

Na presente pesquisa fez-se o uso de imagens de satélite e análise da rede de drenagem para a compartimentação da área. Optou-se pela utilização do método sistemático de fotointerpretação inicialmente estabelecido por Guy (1966), adequado para as condições brasileiras por Rivereau (1972) e Soares e Fiori (1976), adaptado para imagens de satélite por Veneziani e Anjos (1982).

#### 4.7 Análise Morfoestrutural (4.0)

A partir da interpretação das propriedades das formas da rede de drenagem é possível determinar a estrutura geológica com a localização dos baixos e altos estruturais. Na figura 7 pode-se observar com base na drenagem um alto estrutural a norte e ao sul um baixo estrutural.

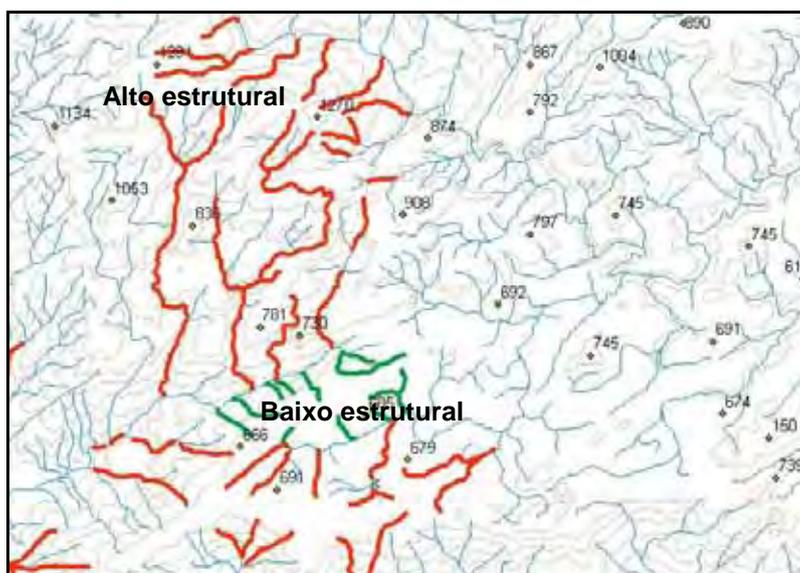


Figura 7– Localização de alto e baixo estrutural segundo a disposição da drenagem.

A morfoestrutura foi realizada mediante a obtenção da rede de drenagem detalhada, com a complementação dos canais de zero ordem localizados nas

reentrâncias das curvas de nível nas cartas topográficas do IBGE, escala 1:50.000 vetorizada e na imagem ETM+/Landsat 7, banda Pan. Os canais pluviais de zero ordem são intermitentes e participam da dinâmica pluvial das vertentes, estes representam traços de juntas e são relevantes na interpretação da rede de drenagem para execução da morfoestrutura.

Essa drenagem (figura 8) foi plotada juntamente com os limites da área de estudo na escala 1:150.000 permitindo uma visão total da área não possível na tela do computador, após esta etapa traçou-se as linhas de forma não cotadas obtendo-se assim a Carta Morfoestrutural. Na sequência esta carta foi digitalizada no programa ArcMap 9 e integrou-se ao banco de dados.

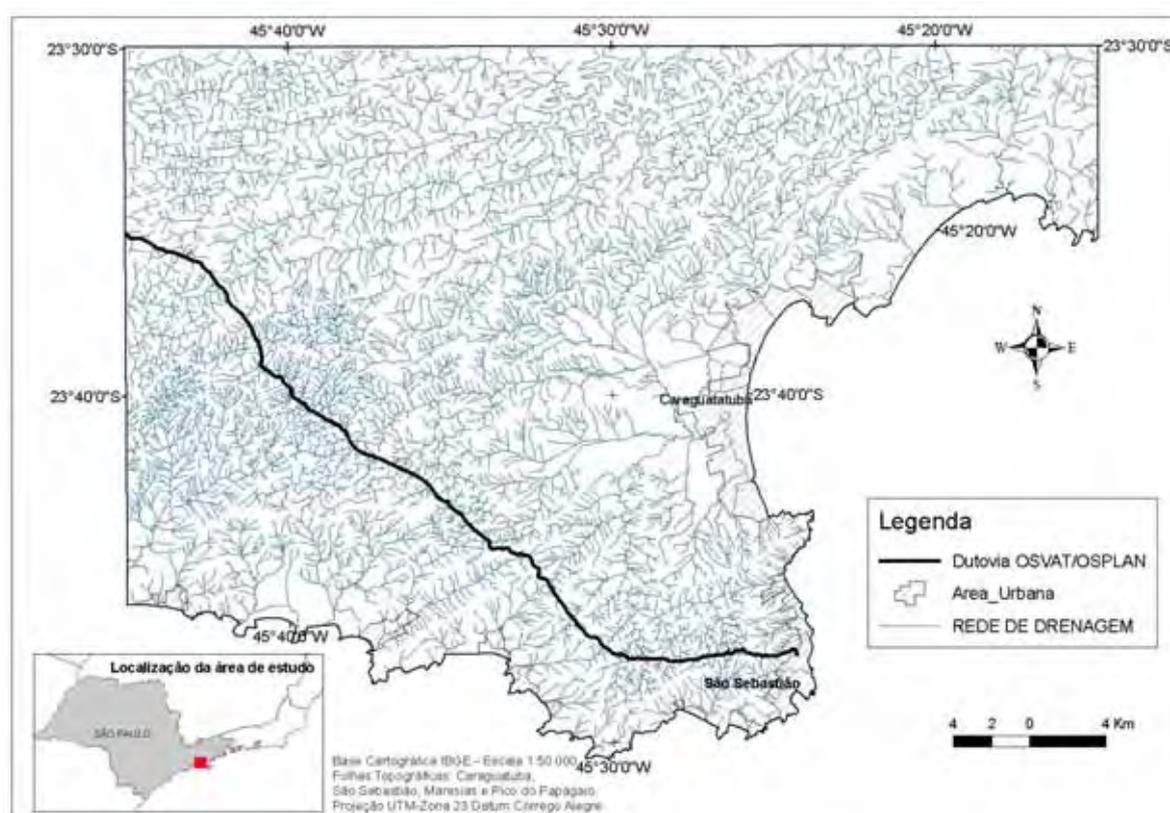


Figura 8 - Representação da carta de Rede de drenagem.

Conforme Jiménez-Rueda, Nunes e Mattos (1993, p. 482), a análise morfoestrutural é baseada na interpretação dos elementos de drenagem e relevo e suas relações espaciais, onde as morfoestruturas surgem como anomalias no contexto regional. Esta análise baseia-se no princípio de que muitas estruturas podem ser refletidas em superfície e identificadas com produtos de sensoriamento remoto.

As morfoestruturas são linhas de contorno estrutural não cotadas que representam a disposição das camadas estruturais em sub-superfície, seguindo a tendência regional das assimetrias de drenagem (JIMÉNEZ-RUEDA; NUNES; MATTOS,1993, p. 483) .

Com a análise morfoestrutural pode se identificar os altos e baixos estruturais que serão relacionados à sua posição topográfica, ou seja, os altos e baixos estruturais nem sempre estão em conformidade com a topografia. O esquema abaixo demonstra (Figura 9) através de cortes transversais as possíveis associações entre morfoestrutura e morfometria.

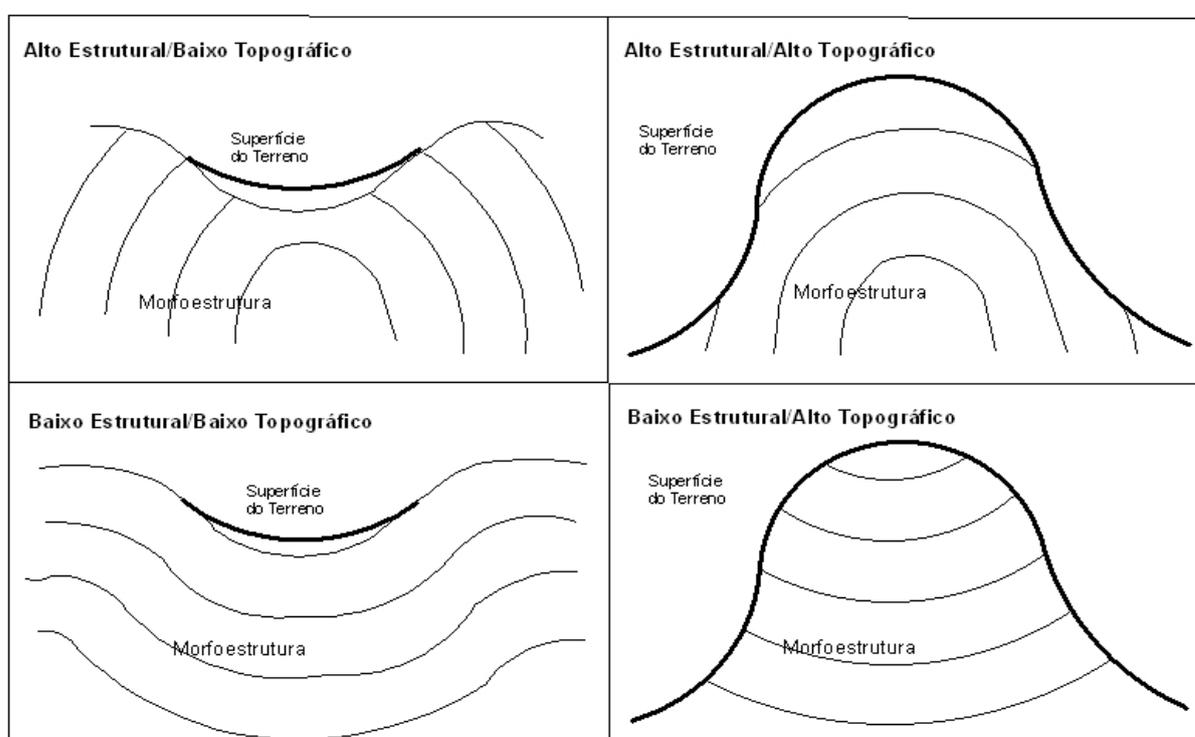


FIGURA 9- ESQUEMA EM CORTE TRANSVERSAL DAS POSSÍVEIS ASSOCIAÇÕES ENTRE MORFOESTRUTURA E MORFOMETRIA FONTE:CAETANO, 2006.

Segundo Jiménez-Rueda, Nunes e Mattos (1993) a relação entre morfoestrutura e morfometria em clima tropical e subtropical resulta nas seguintes características quando associadas:

- Alto estrutural/Alto topográfico (Ae/At): pedogênese maior que morfogênese, forte intemperismo, fertilidade baixa, baixa erosão, argilominerais do tipo caulinita e gipsita, intensa oxidação, hidrólise total, processos de alitização, latossolização e laterização;

- Alto estrutural/Baixo topográfico (Ae/Bt): pedogênese maior que morfogênese, forte intemperismo, fertilidade de baixa a média, erosão moderada a forte, formação de argilominerais do tipo caulinita, gibsita e esmectita, oxidação e hidrólise parcial, processos de alitização, latossolização, laterização, argilização e melanização;
- Baixo estrutural/Alto topográfico (Be/At): pedogênese maior que morfogênese, intemperismo moderado a forte, fertilidade média a alta, erosão forte a moderada, formação de argilominerais do tipo caulinita, esmectita, hidrólise parcial/total, moderada redução, processos de argilização e latossolização;
- Baixo estrutural/Baixo topográfico (Be/Bt): morfogênese maior que pedogênese, fraco intemperismo, fertilidade alta, formação de argilominerais de esmectita, intensa redução, hidrólise parcial/incipiente, processos de melanização, gleização e argilização com concentração de Na, Ca, Ca,  $\text{Co}_3$ , Si, Mg.

#### 4.8 Zoneamento Geoambiental (Cartas de Zonas e Unidades Geoambientais) (5.0)

O trecho de duto mapeado possui aproximadamente 39 km de comprimento considerou se para o mapeamento das unidades geoambientais uma faixa de 10 km de largura.

As unidades geoambientais foram obtidas mediante compartimentação fisiográfica que consiste segundo Vedovello, 2000 em dividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas distintas das áreas adjacentes.

Na abordagem fisiográfica ou de paisagem, os elementos componentes do terreno são analisados ao mesmo tempo, geralmente através de fotointerpretação, onde são delimitadas diferentes unidades de terreno, que representam diferentes associações dos elementos ambientais. Essas unidades são caracterizadas quanto suas propriedades e características e avaliadas em termos de diagnóstico e prognóstico ambiental (VEDOVELLO, 2000).

Segundo Villota (1992), o termo fisiografia se refere à descrição dos produtos da natureza, entendendo por natureza todo o conjunto, ordem e disposição das entidades do universo. Enquanto a análise fisiográfica consiste em um método

moderno de interpretação de imagens da superfície terrestre, que se baseia na relação fisiografia-solo.

A compartimentação é feita através da análise dos elementos componentes do meio físico que podem ser de natureza geológica, geomorfológica, pedológica, vegetacional, entre outros, e da identificação dos aspectos locais desses elementos, ou seja, das suas formas de ocorrência.

Zuquette (1987), afirma que um problema básico no desenvolvimento de mapeamentos geotécnicos consiste em definir, identificar e isolar os atributos que devem ser utilizados para caracterizar as unidades homogêneas de maneira a atender as finalidades específicas de cada trabalho.

Conforme Rivereu, 1970 apud Caetano, 2006 a delimitação das zonas homólogas é realizada com base na densidade de textura da imagem. Na interpretação das imagens segundo Soares e Fiori (1978), deve-se atribuir as propriedades de densidade textural, tropia, permeabilidade, plasticidade/ruptibilidade e alterabilidade do maciço a cada zona homóloga.

Segundo Caetano (2006) após essa atribuição essas zonas passam a ser chamadas de unidades geoambientais.

Os atributos das unidades geoambientais permitirão fazer inferências sobre as características geotécnicas dessas unidades, ou seja, a partir da análise textural podemos determinar os fatores ambientais que originam esta textura (CAETANO, 2006). Para melhor compreensão dos termos utilizados neste trabalho definimos:

- Atributo como aquilo que é próprio ou peculiar de alguém ou de alguma coisa (propriedade, qualidade, símbolo) é a qualidade que atribui ao sujeito: predicado.
- Característica como aquilo que caracteriza ou define o caráter, descreve com exatidão.
- Propriedades qualidade do que é próprio, particularidade, caráter, qualidade especial.
- Próprio o que pertence exclusivamente a um indivíduo, que não pertence a outrem, privativo, peculiar, preciso, qualidade particular.

- **Fatores** é o que determina ou faz alguma coisa, cada um dos elementos que concorrem para um resultado.

Os fatores que controlam a textura e a estrutura dos elementos são segundo Veneziani, (1991):

- **Morfogenéticos**- responsáveis pela elaboração das formas de relevo e drenagem. A modelagem do terreno é função da estrutura do terreno e dos agentes modeladores externos (meteorização, erosão fluvial eólica, erosão glacial, erosão marinha e erosão causada por ações antrópicas e fatores internos (processos tectônicos).
- **Litológicos**- dependem das propriedades físico-químicas dos materiais rochosos (resistência a erosão, permeabilidade, plasticidade, solubilidade e tropia);
- **Deformacionais**- são fatores resultantes das deformações sofridas pelos materiais rochosos, tectônica ou atectonicamente.

Vários autores realizaram estudos baseados nos elementos de relevo, afim de obter prognósticos para área. Dentre eles destacam-se Vedovello(1993), Ohara(1995), Okida(1996), Crepani *et al* (1999), Franzoni (2000), Rodrigues(2000), Vedovello(2000) e Caetano(2006).

A escolha dos elementos de análise (rochas, relevo ou materiais inconsolidados) se deve ao fato de que as condições geotécnicas de uma dada área são determinadas pelas diferentes formas com que se apresentam. No quadro 4 os elementos do meio físico e os aspectos ambientais considerados para cada um deles.

Elementos Componentes do meio físico	Aspectos considerados
<b>Rochas</b>	Litologia e estrutural.
<b>Relevo</b>	Forma de relevo e vertente, declividade e feições ou processos geológicos e geomorfológicos.
<b>Materiais inconsolidados (solos e sedimentos)</b>	Espessura, composição e perfil intempérico.

Quadro 4- Elementos componentes do meio físico analisados e aspectos considerados

Como por exemplo, uma área de gnaiss bastante fraturado constituindo um relevo de morros arredondados, com material inconsolidados intensamente lixiviado, tais características são determinantes das condições de fragilidades naturais e do tipo de comportamento desse terreno quando sucede a intervenção de obras de engenharia lineares.

#### 4.8.1 Compartimentação do terreno

A compartimentação do terreno iniciou se pela complementação da drenagem existente nos limites administrativos dos municípios de Maresias, Caraguatatuba e São Sebastião obtida do projeto Conceção, Desenvolvimento, Implementação, Aplicação, Elaboração de cartas SAO: Litoral Paulista em formato shape. Toda essa drenagem foi adensada a partir da análise das curvas de nível existentes no formato shape no programa ArcMap 9.2. Os trechos pertencentes às cartas topográficas (Maresias, São Sebastião, Caraguatatuba e Pico do Papagaio) não cobertos pelo projeto acima citado, foram extraídos e complementados das cartas topográficas em formato tiff disponíveis no site do IBGE.

Para a delimitação das unidades aplicou se o método aplicado por Vedovello (2000), o qual é estruturado em três etapas: compartimentação fisiográfica do terreno, caracterização geoambiental e cartografia final ou de síntese. Esse método é baseado na análise de aspectos fisionômicos do terreno e as unidades identificadas são caracterizadas quanto às propriedades e características dos elementos componentes e avaliadas em termos de diagnósticos e prognósticos ambientais.

PROPRIEDADE TEXTURAL	CARACTERIZAÇÃO
<b>Tipo de elemento de textura</b>	Esta propriedade define qual espécie de elemento textural está sendo analisado, podendo se, por exemplo, um segmento de relevo ou drenagem.
<b>Densidade de textura</b>	Quantidade de elementos texturais de um mesmo tipo, por unidade de área da imagem podendo ser alta, baixa, moderada.
<b>Arranjo Textural</b>	Refere-se à maneira como os elementos texturais se dispõem espacialmente (ordenada ou não) permitindo classificar o modo de ocorrência dos elementos texturais segundo padrões que reflitam a disposição espacial desses elementos na imagem (drenagem de padrão dendrítica, anelar, etc.)
<b>Grau de estruturação</b>	Trata da definição da organização espacial dos elementos texturais, em função do seu arranjo textural podendo ser alto, médio, baixo, etc.
<b>Ordem de estruturação</b>	Refere-se à complexidade de organização dos elementos texturais, sendo a sua classificação dada em função da ocorrência ou não de uma ou mais estruturas sobrepostas.

Quadro 5—Propriedades das formas texturais em imagens de satélite. Fonte: Veneziani, 1982.

Nesse estudo optou-se por uma compartimentação estruturada em três níveis hierárquicos. No primeiro nível hierárquico foram delimitadas cinco divisões: Planalto do Moraes, Planalto do Lourenço Velho, Planalto do Juqueriquerê, Planície costeira e Serrania costeira (figura 10), segundo o trabalho de Campanha, Ens & Ponçano (1994).

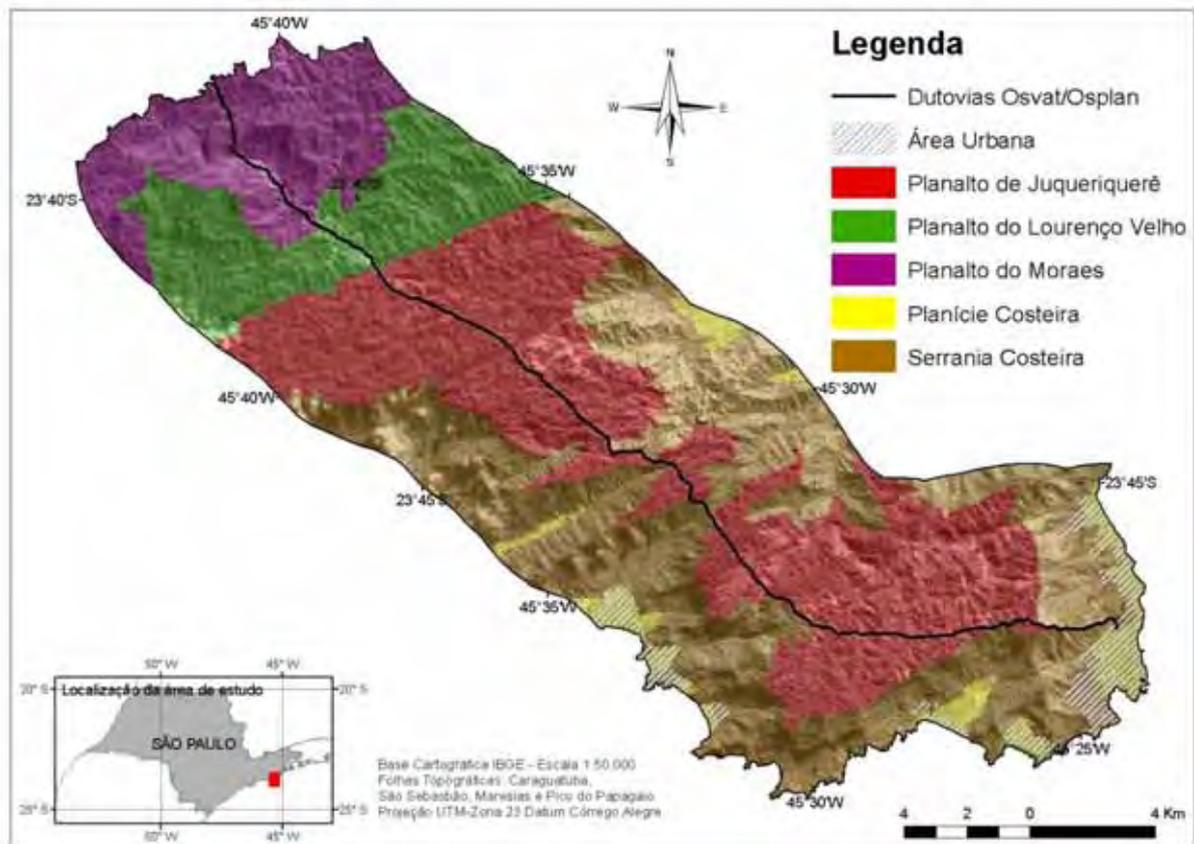


Figura 10 – Divisão dos compartimentos de relevo (primeiro nível hierárquico de compartimentação).

Nos compartimentos referentes aos planaltos ocorre uma forte orientação da drenagem, com padrões geométricos de drenagem (treliça, retangular e contorcida). De acordo com Campanha et al.1994, o caimento dos planaltos mostra tendência de escoamento da rede de drenagem para NW, no caso do Planalto do Moraes, e, para NE, nos planaltos do Lourenço Velho e Juqueriquerê.

Na faixa da dutovia é pequena a área do setor de Planície Costeira. Estas unidades são representadas por baixa densidade de elementos de textura.

No setor de Serrania Costeira, as formas de drenagem apresentam padrão arborescente e observam-se alinhamentos de drenagem em uma direção principal. Segundo Vedovello (2000), em estudo de suscetibilidade e vulnerabilidade para o

município de São Sebastião, tais alinhamentos são determinados pelo encaixe da drenagem principal em uma das direções estruturais da região.

No segundo nível hierárquico foram identificadas 11 subdivisões associadas ao domínio litológico e as bacias de drenagem. Os limites das zonas foram estabelecidos baseados na imagem de satélite e nas bacias de drenagem obtidas nas cartas topográficas. Essas zonas são as apontadas na figura 11.

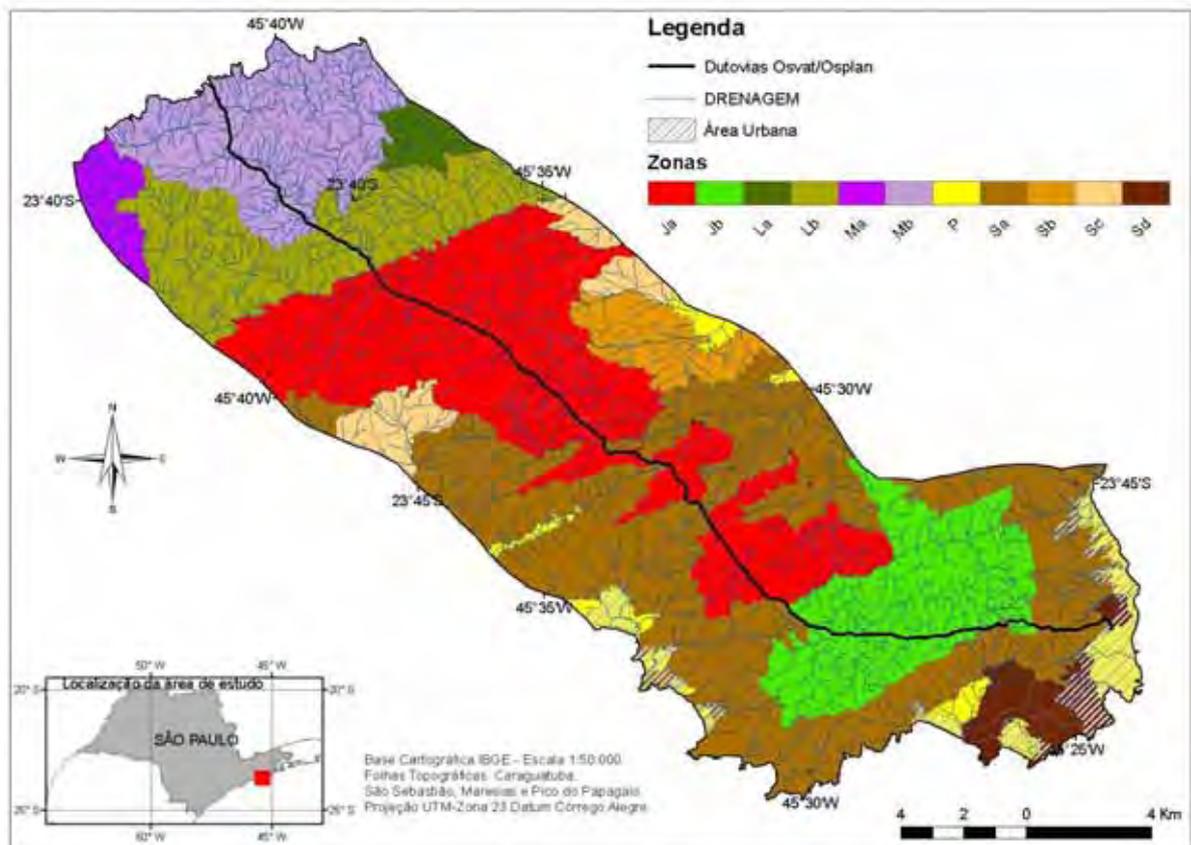


Figura 11- Segundo nível hierárquico de compartimentação (zonas geambientais).

O terceiro nível de compartimentação obteve as unidades geambientais (figura 12). Estas foram identificadas nas subdivisões dos níveis anteriores e determinadas por variações nas propriedades das formas dos elementos texturais de relevo e drenagem. Foram obtidas 101 unidades.

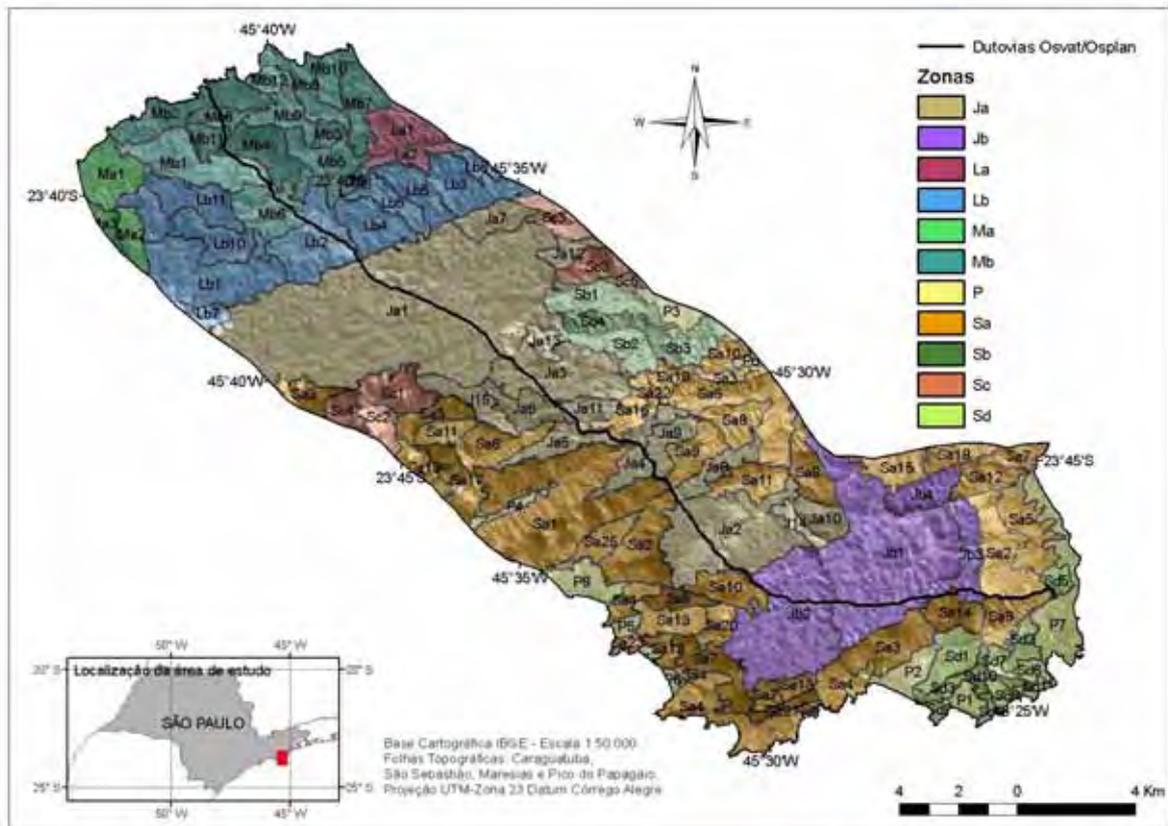


Figura 12 - Terceiro nível hierárquico de compartimentação (unidades geoambientais).

Segundo Vedovello (2000), após a compartimentação inicial da imagem deve-se verificar a homogeneidade e a similaridade das unidades compartimentadas. A homogeneidade é verificada com base na análise dos elementos texturais de imagem, os quais devem manter-se constantes em toda a área da unidade.

A similaridade consiste em comparar as propriedades da forma e as estruturas dos elementos texturais das diversas zonas homogêneas. Isto quer dizer que as áreas que apresentam propriedades texturais/ou estruturais iguais, em um mesmo nível hierárquico devem ser classificadas com a mesma denominação.

O produto obtido apresenta todas as unidades obtidas e diferenciadas por uma sigla ou código que permite discriminá-las e identificá-las, segundo seu contexto fisiográfico e seus níveis hierárquicos de compartimentação (Quadro 6).

COMPARTIMENTOS DE RELEVO		DOMÍNIO LITOLÓGICO	DOMÍNIO MORFOLÓGICO	ZONAS	UNIDADES GEOAMBIENTAIS
Planalto Atlântico	Planalto do Moraes (M)	Granitóides gnáissicos (Pico do Papagaio)	Morros paralelos	Ma	Ma1, Ma2 e Ma3
			Morros com vales profundos	Mb	Mb1, Mb2, Mb3, Mb4, Mb5, Mb6, Mb7, Mb8, Mb9, Mb10, Mb11, Mb12
	Planalto do São Lourenço Velho (L)	Granitóides gnáissicos (Pico do Papagaio)	Morrotos alongados e morros paralelos	La	La1, La2
			Morros paralelos com vales fechados	Lb	Lb1, Lb2, Lb3, Lb4, Lb5, Lb6, Lb7, Lb8, Lb9, Lb10, Lb11
	Planalto do Juqueriquerê (J)	Biotita gnaisses e migmatitos	Morros paralelos com vales fechados a abertos	Ja	Ja1, Ja2, Ja3, Ja4, Ja5, Ja6, Ja7, Ja8, Ja9, Ja10, Ja11, Ja12, Ja13, Ja14, Ja15
			Biotita gnaisses e xistos	Jb	Jb1, Jb2, Jb3, Jb4
Serrania Costeira (S)	Biotita gnaisses e migmatitos	Escarpas digitadas e festonadas	Sa	Sa1, Sa2, Sa3, Sa4, Sa5, Sa6, Sa7, Sa8, Sa9, Sa10, Sa11, Sa12, Sa13, Sa14, Sa15, Sa16, Sa17, Sa18, Sa19, Sa20, Sa21, Sa22, Sa23, Sa24, Sa25	
		Metagabros, metadoritos e enderbitos	Sb	Sb1, Sb2, Sb3, Sb4	
		Granitóides gnáissicos equigranulares	Sc	Sc1, Sc2, Sc3, Sc4, Sc5	
		Leucogranitos com granadas	Sd	Sd1, Sd2, Sd3, Sd4, Sd5, Sd6, Sd7, Sd8, Sd9, Sd10, Sd11, Sd12	
Planície Costeira (P)	Sedimentos quaternários (areias, argilas e cascalhos)	Planície fluvio-marinha	P	P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8	

Quadro 4- Unidades segundo seus níveis hierárquicos de compartimentação.

Uma vez determinadas, essas unidades são caracterizadas através de propriedades e características geoambientais de interesse específico, ou seja, de acordo com o objetivo do trabalho.

Nesta etapa do trabalho identifica se os fatores de análise. Neste caso, buscou se determinar para a faixa de dutos Osvat/Osplan nos municípios de São Sebastião, Caraguatatuba e Salesópolis quais as áreas de maior suscetibilidade a processos gravitacionais e erosivos.

Para isto o primeiro passo consistiu em identificar quais as propriedades mais relevantes do meio físico que permitiriam a identificação destes processos segundo a análise pretendida. Tais propriedades constituíram os fatores de análise na classificação das unidades geoambientais na etapa da cartografia final.

Segundo Vedovello (2000), é possível se fazer inferências a partir dos elementos fisiográficos, o que consiste em identificar os elementos que compõem

determinada área e para os quais se possa inferir determinadas propriedades e/ou características. De forma que se conhecendo, por exemplo, um elemento fisiográfico de natureza geológica (litologia) e outro de natureza geomorfológica (forma de relevo) seria possível inferir sobre a permeabilidade e a alterabilidade da rocha.

Os fatores utilizados para a caracterização das unidades geoambientais na avaliação da suscetibilidade a processos erosivos e gravitacionais possíveis de atingirem o duto foram: alterabilidade, permeabilidade, topia e declividade devido à localização do duto em ambiente escarpado na Serra do Mar sob domínio de clima tropical úmido.

Todos os fatores citados foram classificados em muito alta, alta, moderada e baixa com os respectivos valores atribuídos a cada um deles 1, 2, 3, e 4.

#### 4.8.2 Levantamento dos fatores de análise

##### **Alterabilidade**

A alterabilidade refere-se à disposição dos materiais componentes das unidades geoambientais (rochas e solos) ao intemperismo. Em áreas com alta alterabilidade ocorre geralmente a formação de espessos mantos de alteração intempérica, já em áreas com baixa alterabilidade predomina uma alta resistência a erosão.

Para a classificação da alterabilidade observa-se a forma das encostas. Em encostas convexas a alterabilidade é muito alta enquanto em encostas côncavas a alterabilidade é baixa. As encostas também podem ser em côncavo-convexas, classificadas como de alta alterabilidade e côncavo-retilínea-convexas, classificadas como de moderada alterabilidade. Na figura 13 classificamos a unidade Ja2 como de alta alterabilidade, enquanto a unidade Sa11 como de baixa alterabilidade, conforme o critério acima descrito.

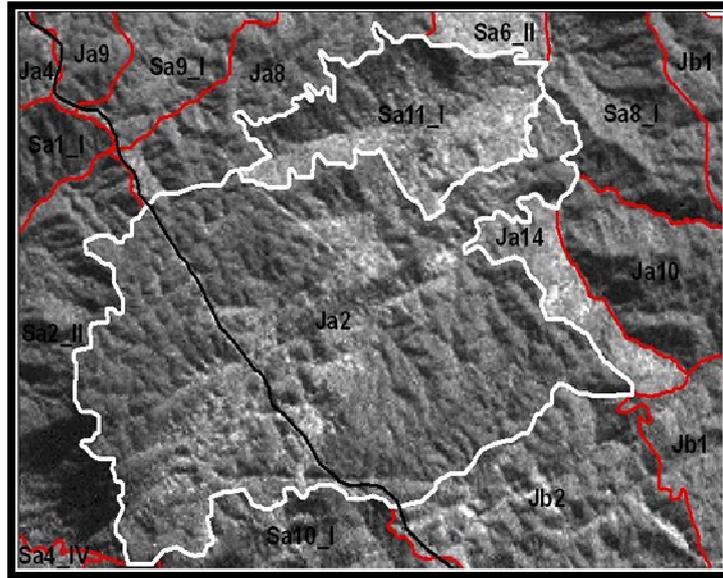


Figura 13- Análise textural para classificação da alterabilidade das unidades

### **Permeabilidade**

A permeabilidade relaciona-se a maior ou menor resistência dos materiais a percolação de um fluido líquido em um meio poroso (Vedovello, 2000). Esta se deve a porosidade primária (intergranular) em materiais sedimentares e a porosidade secundária (fraturas), em materiais metamorfizados ou ígneos como no caso da área de estudo.

Em áreas de rochas metamórficas e ígneas a análise baseia se na densidade de traços de juntas (elementos de drenagem lineares de 1ª ordem), quanto maior a densidade maior a permeabilidade.

Para a determinação da permeabilidade utilizou a carta de densidade de drenagem (Figura 14) considerando a classe predominante em cada unidade, de forma que esta classificação represente a totalidade da unidade.

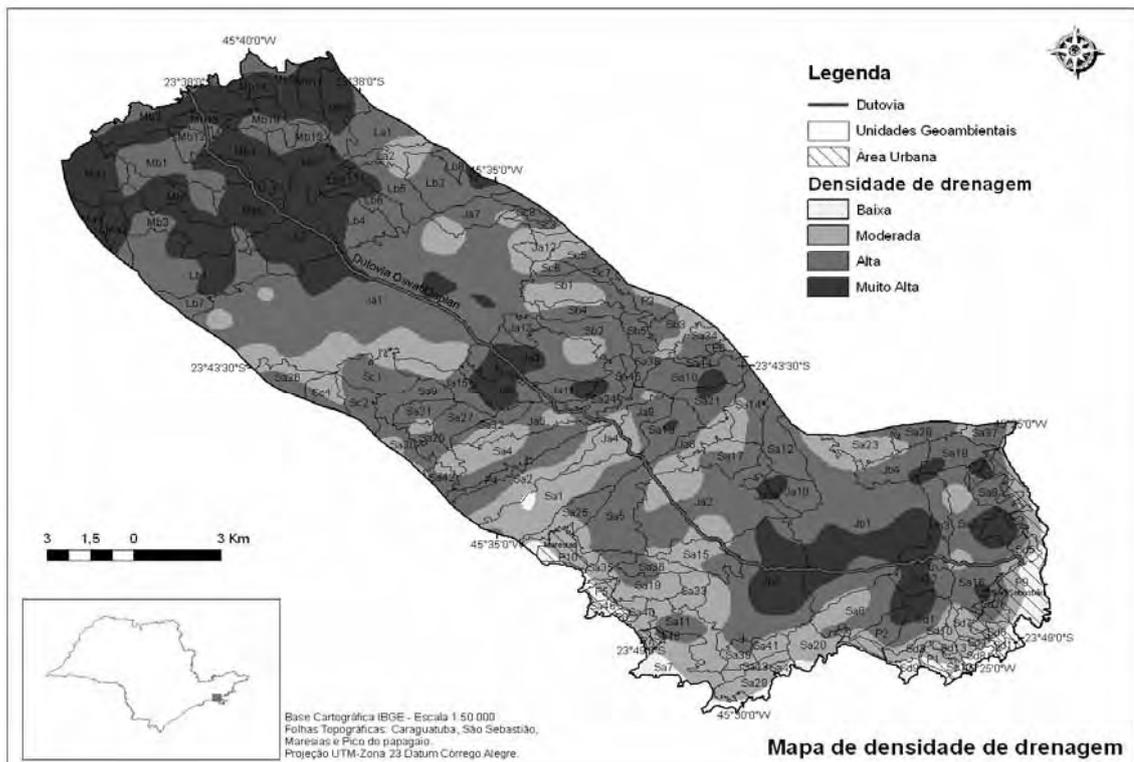


Figura 14- Representação da carta de densidade de drenagem

## Tropia

A tropia é a característica de orientação ou não das formas de relevo e drenagem. As rochas ígneas são isotrópicas por natureza, assim sendo não apresentam orientação das formas de relevo e drenagem, enquanto que as rochas metamórficas são anisotrópicas, devido a sua foliação/gnaissificação/xistosidade apresentando relevo e drenagem alinhados. Na área de estudo a anisotropia das formas (muito alta quando unidirecional, alta quando bidirecional, moderada se tridimensional e nula ou isotrópica no caso de mais de tres direções), também é resultado de intenso fraturamento.

Para classificação das classes de tropia das unidades analisou se a drenagem e a textura da imagem de satélite. Na figura 15 a unidade Lb2 apresenta uma classificação de orientação muito alta da drenagem e relevo, enquanto a unidade Mb6 possui padrão de drenagem dentrítico característico de relevos não orientados.

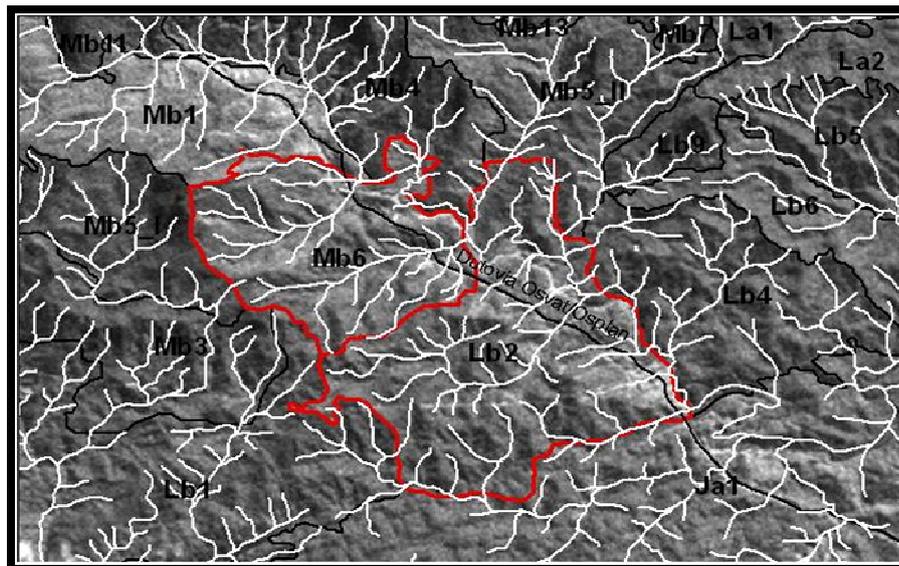


Figura 15–Determinação das classes de tropia

### **Declividade**

Para a definição da declividade considerou-se a inclinação média das vertentes, independentes de sua direção, obtidas nas curvas de nível da carta topográfica escala 1:50.000 do IBGE.

O intervalo para a classificação da declividade foi o seguinte: Baixa, < 8°; Moderada, entre 8-25°; Alta entre, 25-35° e Muito alta, > 35°. De maneira geral a faixa de dutos está inserida numa área onde ocorre o predomínio de altas declividades conforme pode ser observado na carta de declividades (Figura 16). Para determinação destas classes considerou-se que para uma dada subzona as amplitudes de relevo são constantes.

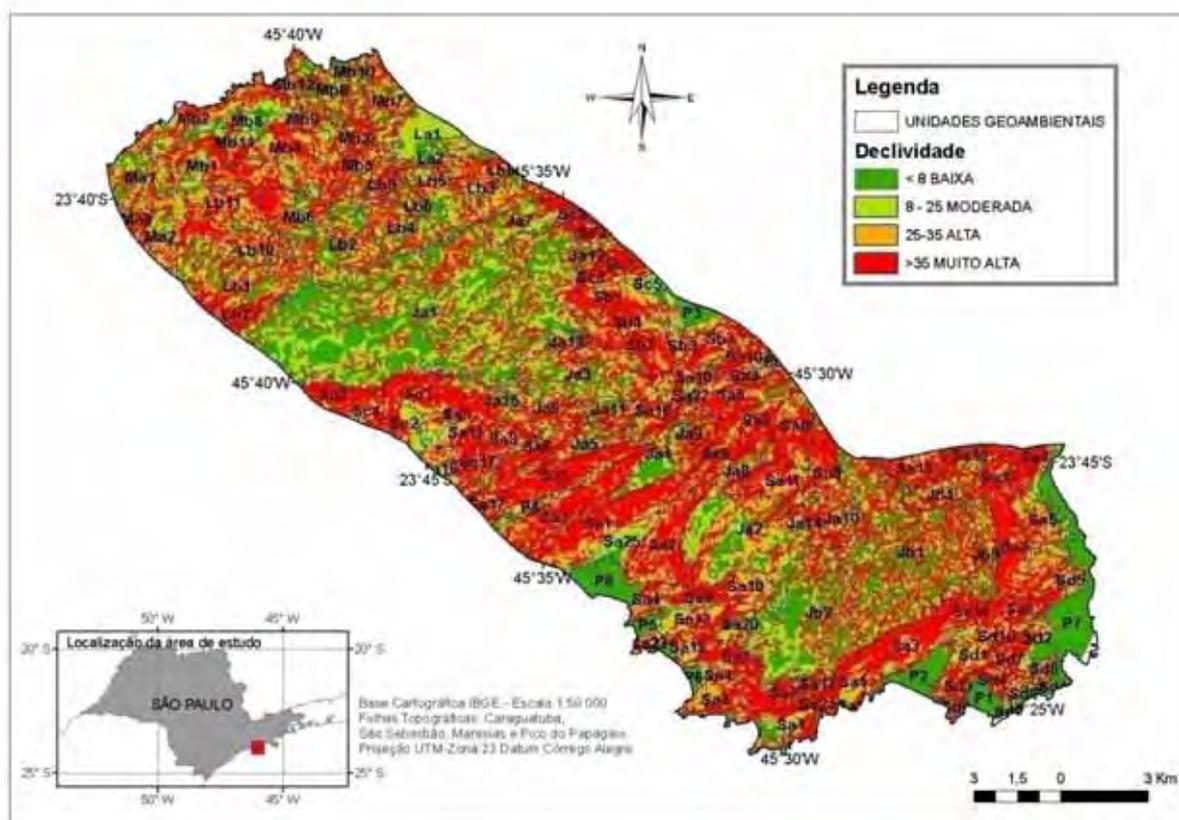


Figura 16– Representação da carta de declividade

Todas as unidades geoambientais delimitadas foram classificadas segundo os quatro fatores considerados relevantes para a definição das unidades com maior instabilidade ambiental.

A sistematização das unidades ocorreu em um banco de dados elaborado no programa ARCGIS 9. Neste banco foi determinado para cada unidade o setor geomorfológico, domínio morfológico, domínio litológico, classificação quanto à alterabilidade, tropia, permeabilidade, declividade e valor atribuído a suscetibilidade ambiental da unidade. Na figura 17 pode se observar um exemplo do banco de dados elaborado no programa ARCGIS 9.

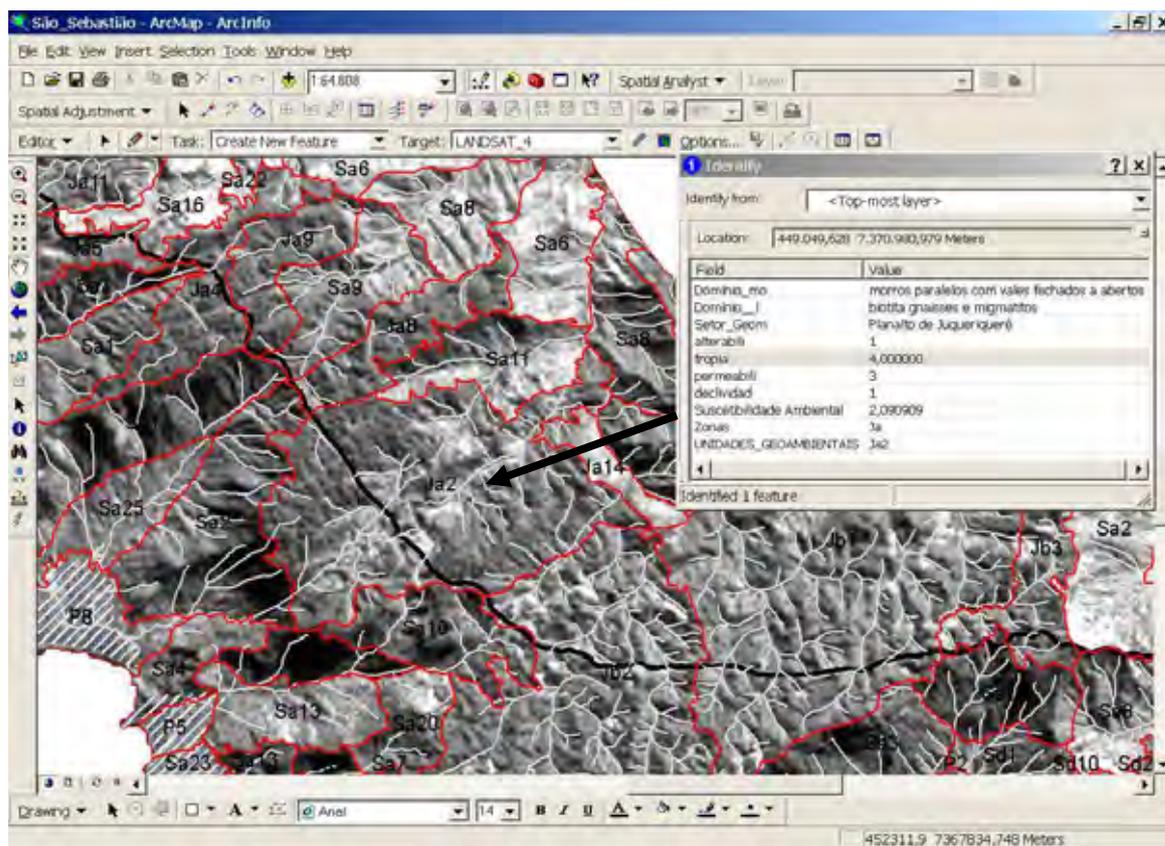


Figura 17– Banco de dado elaborado no programa ArcGIS 9.0.

A partir das 11 zonas geoambientais compartimentou se as unidades geoambientais, que foram determinadas pelas variações nas propriedades das formas dos elementos texturais de relevo e drenagem obtidas nas imagens de satélite Landsat, banda 5.

#### 4.8.3 Determinação das classes de suscetibilidade ambiental

Para a determinação das classes de suscetibilidade ambiental atribuiu se os seguintes pesos aos fatores de análise: Peso 1(alterabilidade), Peso 1,5 (permeabilidade), Peso 1(tropia) e Peso 2 (declividade). Para a determinação das classes de suscetibilidade utilizou se a seguinte fórmula:

$$SA=(A+P.1.5+T+D.2)/5.5$$

Com relação aos pesos atribuidos a cada fator, foi atribuido peso 1 a alterabilidade devido a homogeneidade da litologia na faixa, constituída por granitos e gnaiesses. Também adotou se peso 1 para a tropia, pois a toda área estudada possui alto controle estrutural.

A atribuição de peso 1,5 a permeabilidade relaciona-se a importância desse fator na infiltração e alteração das rochas e o peso 2, atribuído a declividade foi adotado, pois este fator é de suma importância na determinação de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais.

Após a obtenção dos valores de suscetibilidade, as unidades geoambientais foram divididas em quatro classes, descritas a seguir, segundo a suscetibilidade ambiental dessas unidades a processos erosivos e gravitacionais que possam atingir a faixa de dutos.

1.Baixa Suscetibilidade Ambiental (intervalo 1,00-2,00) em cor verde : correspondente a áreas favoráveis a instalação do duto, pois apresenta baixas restrições ao uso e ocupação. Exigem manutenção mínima, respeitadas as condições naturais.

2.Moderada Suscetibilidade Ambiental (intervalo 2,01-2,50) cor amarela: Restrições moderadas ao uso, requerendo obras de pequeno porte para manutenção do equilíbrio eco-dinâmico.

3.Alta Suscetibilidade Ambiental (intervalo 2,51-3,00) em cor laranja: Áreas com fortes restrições a o uso e ocupação. Densa infraestrutura para instalação e manutenção de obras lineares.

4.Muito Alta Suscetibilidade Ambiental (intervalo 3,01-4,00) cor vermelha: Não recomendada sua ocupação, sem que haja estudo prévio para se estabelecer obras de sustentação à ocupação específica.

No diagrama ( figura 18) pode-se observar esta classificação no programa ArcGIS 9.0 e as classes obtidas. Ocorre uma concentração dos valores próximos a média (2,73), ou seja, a distribuição das zonas comporta-se aproximadamente como uma curva Gaussiana Normal.

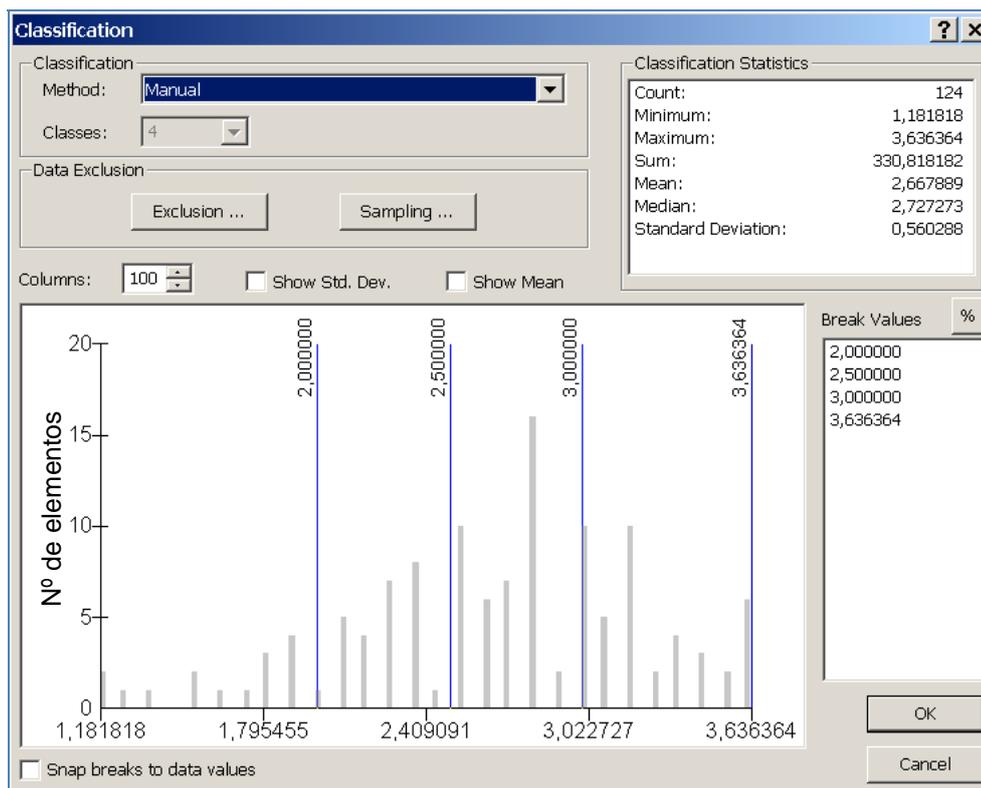


Figura 18 – Número de elementos (Unidades Geoambientais) em função dos intervalos de valores definidos para a suscetibilidade ambiental.

#### 4.9 Análise Morfotectônica (Carta de Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas) (6.0)

Conforme Loczy e Ladeira (1976) a tectônica investiga a morfologia e a associação das estruturas de tipos similares, classificando-as ou agrupando-as em zonas e regiões, procurando obter uma visão integrada das estruturas maiores e suas relações espaciais entre si.

Na etapa de análise do fraturamento efetuou-se o estudo das estruturas que condicionam à drenagem e o relevo, sendo essas as feições lineares de drenagem (traços de juntas), alinhamentos de drenagem (lineamentos estruturais) e suas relações espaciais, permitindo estabelecer e classificar zonas com diferentes graus de tectonismo, cisalhamento e ruptibilidade.

O procedimento utilizado nesta etapa consistiu em explorar os atributos espaciais das imagens de satélite utilizando uma avaliação textural das mesmas, análise de feições lineares de drenagem (traços de juntas), alinhamentos de drenagem e tonais (lineamentos estruturais - falhamentos).

Os lineamentos estruturais são definidos por O'Leary et al (1976) como uma feição linear, simples ou composta, contínua ou descontínua da superfície terrestre, cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que difere substancialmente dos padrões de feições que lhe são adjacentes.

Loczy e Ladeira (1976) definem juntas como planos ou superfícies de fraturas que dividem as rochas e ao longo dos quais não ocorreu deslocamento das paredes rochosas paralelamente aos planos de fratura, ou se o deslocamento ocorreu foi mínimo e não visível.

Após a extração dos fraturamentos (juntas e lineamentos estruturais) obteve-se cartas derivadas tanto dos lineamentos estruturais como dos traços de juntas, como pode ser observado na figura 19.

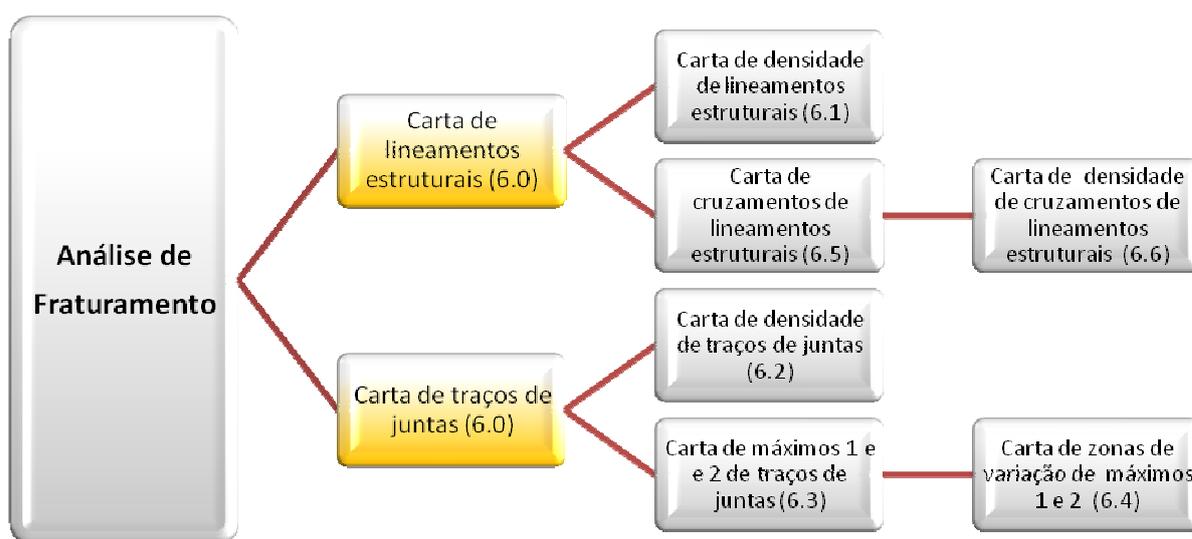


Figura 19- Cartas derivadas dos lineamentos estruturais e dos traços de juntas.

Alguns autores como Franzoni (2000), Crisóstomo Neto (2003), Caetano (2006) desenvolveram zoneamentos com a sistemática de mapeamento e análise de estruturas geológicas rúpteis (lineamentos estruturais e traços de juntas).

#### 4.10 Carta de densidade de lineamentos estruturais (6.1) e Carta de densidade de traços de juntas (6.2)

As cartas de densidade de Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas são derivadas da Carta de Fraturamento. Estas foram elaboradas utilizando o estimador por Kernel no programa ArcGIS 9.0. Foram estabelecidos os parâmetros de entrada

para a geração da carta em célula de saída 100 por 100 metros e raio de busca de 1500.

#### 4.11 Carta de máximos 1 e 2 de traços de juntas (6.3) e Carta de zonas de variação de máximos 1 e 2 (6.4)

A carta de zonas de variação de máximos 1 e 2 (as duas direções de maior freqüência) é derivada da carta de traços de juntas. A carta de zonas de variação de máximos 1 e 2 determina as zonas mais fraturadas, portanto mais instáveis.

Para a confecção dessa carta sobrepôs se na tela do computador uma folha de papel com um orifício de 15 cm de diâmetro. Após isso, fixou se a escala em 1:50.000, no programa ArcGIS 9.0, em seguida moveu se a carta e determinou se nesse orifício as duas direções preferenciais de traços de juntas. O produto desta seqüência caracteriza se como Carta de Máximos 1 e 2. Esta carta originará a de Zonas de Variação de Máximos 1 e 2.

A filtragem dos traços de zonas de juntas em máximos 1 e 2, serve para verificar áreas onde o comportamento das direções principais variam, caracterizando regiões de variação de direção de máximos 1 e 2 (CRISÓSTOMO NETO, 2003).

#### 4.12 Carta de cruzamentos de lineamentos estruturais (6.5) e Carta de densidade de cruzamentos de lineamentos estruturais (6.6).

Nas cartas de Densidade de Cruzamentos e Lineamentos foram utilizados os mesmos parâmetros das cartas de densidade de Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas, ou seja, célula de saída 100 por 100 metros e raio de busca de 1500 metros.

#### 4.13 Avaliação Preliminar (7.0)

Nesta etapa ocorreu a avaliação dos dados, informações e resultados obtidos até neste ponto da pesquisa. Esta consistiu numa etapa de decisão sobre os produtos obtidos, ou seja, avaliou se a validade das cartas e se estas cumpriam com o objetivo requerido a elas. No caso de inconsistências retomou se esta etapa.

#### 4.14 Carta de Suscetibilidade Ambiental (CSA) (8.0)

Neste trabalho o termo suscetibilidade ambiental refere-se à disposição ou tendência das zonas e unidades geoambientais mapeadas a processos de instabilização (movimentos gravitacionais e processos erosivos) quando sob interferência de obras lineares, como no caso dutovias.

Segundo Fernandes & Amaral (1996) o mapa de suscetibilidade ambiental é uma ferramenta indispensável para a amenização das consequências geradas por escorregamentos, pois permite decisões mais apropriadas, na gestão de obras de engenharia.

A Carta de Suscetibilidade Ambiental (CSA) foi elaborada a partir dos seguintes produtos cartográficos: Carta de Unidades Geoambientais, Carta Morfoestrutural e Carta de Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas (figura 20). Com objetivo de determinação das áreas suscetíveis a processos gravitacionais e erosivos na faixa de dutos OSVAT/OSPLAN.

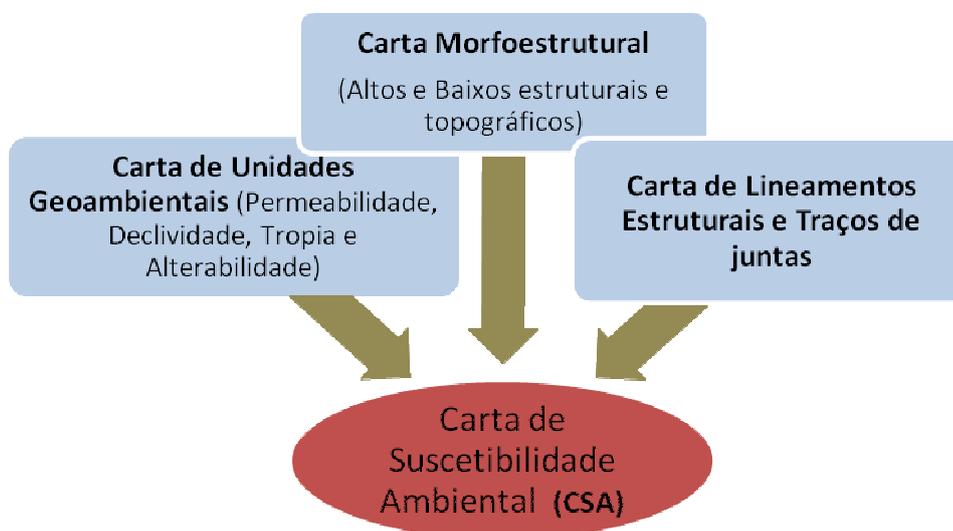


Figura 20- Produtos cartográficos que originaram a Carta de Suscetibilidade Ambiental (CSA).

De forma a garantir uma melhor compreensão dos processos geodinâmicos mapeados na CSA, a seguir uma breve descrição destes.

#### 4.14.1 Os processos gravitacionais

Fiori (1995) afirma que a força da gravidade origina tensões cisalhantes no interior do manto de alteração ao longo das vertentes, estas tensões, responsáveis pela ocorrência dos movimentos de massa, aumentam com a inclinação e a altura das encostas, com o peso específico do solo e com a quantidade de água que se infiltra e acumula no mesmo. Neste processo, a água desempenha papel fundamental alojando-se nos planos potenciais de ruptura, diminuindo a resistência mecânica do solo, pelo efeito da pressão neutra e em função da lubrificação destes planos.

Os movimentos de massa são fenômenos comuns em terrenos acidentados íngremes, grandes desmoronamentos são frequentes em regiões tectonicamente ativas, outros são causados ou induzidos pela pressão de água no solo (BIGARELLA; BECKER, 1996, v.3, p.1026).

Em áreas serranas intensamente ocupadas, ocorrem simultaneamente dois processos que podem induzir a movimentos gravitacionais: um deles natural, como consequência do fenômeno geológico da Denudação, que se traduz na forma de movimentos do regolito ou movimentos de massa; o outro é o estimulado pelo processo de uso da terra manifestado na forma de diferentes graus de alteração da paisagem. A ocorrência destes dois processos simultaneamente pode ser harmoniosa ou causar a aceleração catastrófica do processo natural.

De uma forma simplificada, que atenda aos propósitos deste trabalho, os movimentos gravitacionais do regolito associados às encostas podem ser assim classificados segundo o IPT, 1991:

- 1) **Rastejo** - é o movimento mais lento do regolito. Dependendo do material em movimento fala-se em rastejo de tálus, rastejo de solo ou rastejo de rocha. A velocidade do rastejo, medida em centímetros por ano ou ainda menos, é maior na superfície e diminui gradualmente até zero com a profundidade. O rastejo só é perceptível através de evidências indiretas de elementos da paisagem como troncos curvos de árvores e estratos de rochas curvos próximo à superfície, ou alterações em construções feitas pelo homem, como mourões de cercas e postes adernados ou fendas e irregularidades em pavimentos de rodovias.

- 2) **Escorregamentos** – as condições essenciais para o escorregamento são a falta de estabilidade da frente das encostas e a existência de superfícies de deslizamento. Tais condições ocasionam movimentos rápidos, com velocidades de metros por hora a metros por segundo, e de curta duração com planos de ruptura bem definidos entre o material deslizado e o não movimentado. O início do movimento está muitas vezes relacionado a cortes na base das encostas que alteram as condições de estabilidade do material da frente dessas encostas. Esses cortes podem ser naturais, causados por rios ou pelo mar, ou artificiais causados por cortes em barrancos resultantes da ação humana para instalação de obras como rodovias e dutovias. Em solos e/ou regolitos profundos, ricos em minerais de hábito planar como argilas e micas, o escorregamento se dá segundo uma superfície de deslizamento côncava com o material em movimento deslocando-se para baixo e para frente de tal modo que o topo do bloco deslocado aderna para trás e a base projeta-se para fora da encosta, num movimento rotacional. Em solo e/ou regolito com estruturas planares herdadas das rochas (bandamento, foliação, acamamento, xistosidade, fraturas, falhas, juntas) ou adquiridas na pedogênese (horizontes, contatos) que mergulhem para fora da encosta, o escorregamento se dá segundo superfícies de deslizamento planas associadas a essas estruturas, lubrificadas pela água das chuvas.
- 3) **Corridas de Massa** – se o solo e/ou o regolito já sujeitos ao rastejo estão saturados de água, a massa encharcada poderá mover-se encosta abaixo alguns centímetros ou decímetros por hora ou dia. Este tipo de movimento chamado de *solifluxão* (literalmente fluxo de solo) é caracterizado pela presença de uma superfície impermeável dentro do solo, ou no embasamento rochoso, responsável pela saturação em água do solo e/ou regolito, causando a movimentação dos detritos que cobrem toda a superfície da encosta. A supersaturação da massa encharcada causada por chuvas de intensidade elevada pode levá-la a comportar-se como um fluido altamente viscoso e a deslocar-se rapidamente, com velocidades de metros por segundo, ao longo das linhas de drenagem na forma de corridas de massa.
- 4) **Quedas** – são movimentos de blocos e fragmentos de rochas a partir de afloramentos verticais e salientes em queda livre ou pelo salto e rolamento longo de planos inclinados com declividades muito altas, sem a presença de uma superfície de deslizamento. Estes movimentos apresentam velocidades muito

altas, da ordem de metros por segundo. Os afloramentos verticais localizam-se em penhascos, escarpas de falha e cabeceiras de anfiteatros de erosão. A ocorrência de quedas é favorecida pela presença de descontinuidades na rocha (fraturas, juntas, bandamento, acamamento, xistosidade, foliação) que facilitam a infiltração de água e o conseqüente intemperismo que individualiza blocos e fragmentos e os disponibiliza para o movimento.

#### 4.14.2 Os processos erosivos

A erosão consiste no processo de fragmentação mecânica das rochas ou na decomposição química destas. A erosão pode ser normal ou acelerada, a primeira efetua-se dentro das condições naturais do ambiente. Já a erosão acelerada implica num processo muito rápido de retirada de solo e/ou regolito, abrindo sulcos mais ou menos profundos na superfície do terreno. Estes sulcos aceleram a infiltração da água no terreno.

Existem dois tipos principais de processos erosivos causados pela ação da água sobre o solo:

1. **Erosão laminar ou em lençol**, causada pelo escoamento difuso das águas das chuvas, resultando na remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais do solo;
2. **Erosão linear**, causada pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície, em forma de sulcos, que pode evoluir, por aprofundamento, para ravinas.

#### 4.15 Avaliação final (9.0)

Nesta etapa foi feita uma avaliação final dos produtos cartográficos obtidos nesta pesquisa. Os procedimentos foram repetidos até que não houvesse mais nada acrescentar a estes produtos.

#### 4.16 Elaboração da dissertação de mestrado (10.0)

Como etapa final da pesquisa foi elaborado o relatório final da pesquisa em questão, objetivando determinar para a faixa de polígonos Osvat/Osplan as áreas mais suscetíveis a processos gravitacionais e erosivos.

## V. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Carta morfoestrutural

Na carta morfoestrutural (figura 21) identificou-se 24 feições anômalas, destas 12 são Ae/At, 1 Ae/Bt, 2 Be/At e 9 são Be/Bt. Nos altos estruturais as rochas apresentam-se em forma de estruturas dômicas ou antiformes, originados por dobramentos flexurais onde ocorrem sistemas de juntas discretas abertas que favorecem a percolação de fluídos. Já nos baixos estruturais as rochas apresentam-se em forma de depressões, bacias ou sinformes, ocasionados por dobramentos flexurais em sistemas fechados, de baixa percolação, devido a circulação de água restrita é favorecida a concentração de fluídos (CAETANO, 2006).

Pode-se observar próximos a dutovia dois baixos estruturais/baixos topográficos, o primeiro localizado na planície costeira e o segundo no trecho NW da dutovia, estes caracterizam áreas muito suscetíveis a inundações, pois possui o nível do lençol freático alto, solos hidromórficos, sendo, portanto áreas inadequadas a instalação de obras lineares.

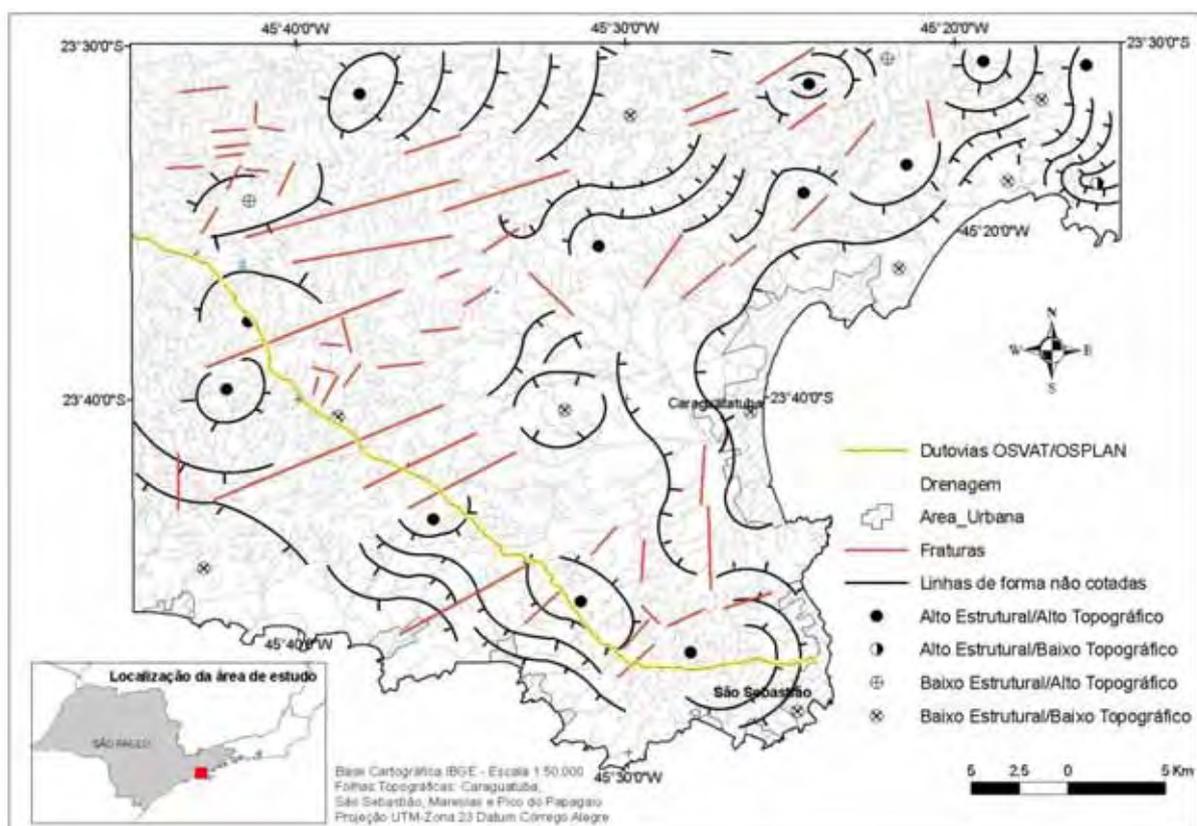


Figura 21 – Representação da Carta Morfoestrutural

A dutovia atravessa 4 altos estruturais/altos topográficos, estas são áreas intensamente fraturadas e com sistema de juntas abertas, portanto de fácil captura de águas superficiais que migram para os baixos, constituem áreas intensamente oxidantes, fortemente alteradas, com predominância de latossolos, quando sofrem intervenção antrópica se desestabilizam com facilidade, conseqüentemente são áreas que devem receber atenção redobrada quando da instalação de obras lineares.

## 5.2 Zonas e Unidades Geoambientais

As zonas geoambientais foram definidas a partir da compartimentação dos domínios morfológicos e litológicos e posteriormente pelas bacias de drenagem, desta forma foram definidas 11 zonas geoambientais. Estas zonas podem ser observadas na figura 22.

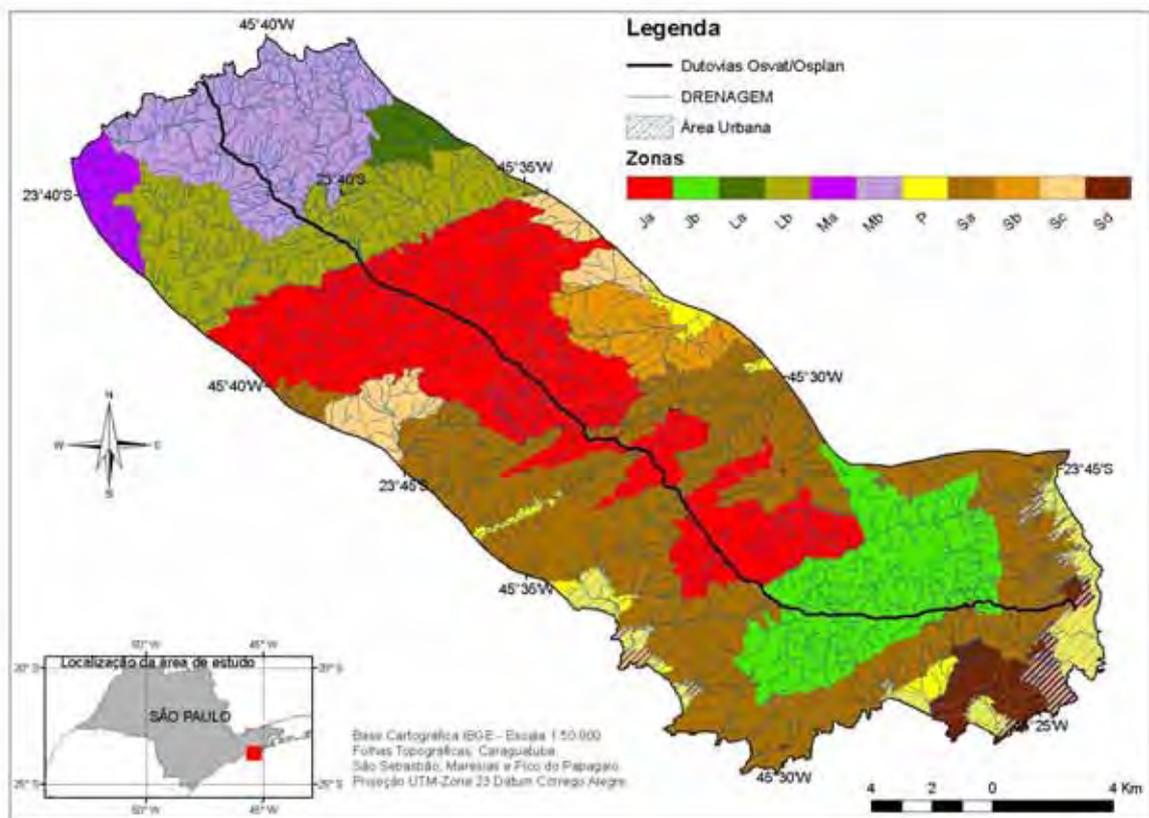


Figura 22 – Representação da Carta de Zonas Geoambientais.

### 5.2.1 Zona Geoambiental (Ja)

Esta zona comporta o Planalto de Juqueriquerê, onde ocorrem alinhamentos de relevo e de drenagem com padrão em treliça, devido ao forte controle estrutural bi-direcional, também possui alta densidade de drenagem. Suas declividades estão entre moderada a alta.

Esta zona é limitada pela zona de cisalhamento Camburu com domínio litológico de Augen Gnaiss Juqueí no trecho NW e pelo Complexo Gnáissico Migmatítico no trecho sudeste, é constituída por morros paralelos.

### 5.2.2 Zona Geoambiental (Jb)

Nesta zona a densidade de drenagem é muito alta, perfaz o trecho sul do Planalto de Juqueriquerê tem forte controle estrutural bi-direcional. Com predominância litológica do Complexo Gnáissico Migmatítico. Esta zona é limitada a SE pelo sistema de cavalgamento São Sebastião. Possui declividades entre alta a moderada, com morros com vales profundos.

### 5.2.3 Zona Geoambiental (La)

Esta zona é drenada pela Bacia do Ribeirão Pau d'Alho com drenagem de padrão subdendrítico devido a um controle estrutural secundário dado por uma adaptação de um padrão dendrítico inicial, tem moderada densidade de drenagem e declividades altas. Esta zona é formada pela unidade litológica Granito Pico do Papagaio. É formada por morrotes alongado e morros paralelos nivelados a 950 m.

### 5.2.4 Zona Geoambiental (Lb)

A Zona Geoambiental (Lb) pertence ao Planalto de Lourenço Velho, possui drenagem com alta densidade e forte estruturação bi-direcional, possui declividades altas. Esta zona é drenada pelas bacias dos rios Pardo e Camburu a leste e bacia do rio Cubatão a oeste. É limitada a SE pela zona de cisalhamento Camburu. Possui drenagem com padrão de subdendrítico a angular, pois trata se de uma área com grande concentração de juntas e/ou falhas com ângulos variados. Esta unidade possui como unidade litológica o Granito Pico do Papagaio. É composta por morros paralelos nivelados entre 800 a 1100 m e vales fechados.

### 5.2.5 Zona Geoambiental (Ma)

A zona Ma ocupa o trecho oeste do Planalto do Moraes é drenada pelo rio dos Pilões, possui drenagem com muito alta densidade com padrão dendrítico a subdendrítico. Possui declividades de moderadas a altas e relevo de morros paralelos nivelados a 1100 m, esta zona é limitada a NW pela faixa de cisalhamento Bairro do Alto é constituída a pela unidade litológica Pico do Papagaio.

### 5.2.6 Zona Geoambiental (Mb)

A zona Mb (Planalto do Moraes) tem drenagem com muito alta densidade e padrão estruturado bi-direcional. Possui altas declividades e relevo de morros paralelos com vales profundos. Esta zona é formada pela unidade litológica Pico do Papagaio e é limitada a NW pela zona de cisalhamento Bairro do Alto.

### 5.2.7 Zona Geoambiental (P)

A zona geoambiental P (Planície Costeira) possui drenagem com baixa densidade com padrão dendrítico a anastomosado. Possui baixas declividades. Esta zona é formada por planície flúvio-marinha e é constituída por unidade litológica de sedimentos quaternários (areias, cascalhos e argilas). São terrenos planos, de natureza sedimentar marinha e fluvial quaternária, onde ocorrem processos de agradação, ocupando pequenas áreas. As Planícies Litorâneas apresentam altimetrias entre 0 e 20m e declividades inferiores a 2%. São áreas sujeitas a inundações periódicas, com lençol freático pouco profundo e sedimentos inconsolidados sujeitos às acomodações constantes.

### 5.2.8 Zona Geoambiental (Sa)

Na zona geoambiental Sa (Serrania Costeira) ocorre drenagem com moderada a alta densidade e padrão paralelo a pinado. Esta zona é formada pela unidade biotita gnaisse-migmatitos. Consiste numa faixa de encostas com vertentes abruptas que margeiam o Planalto Atlântico desde a região do Planalto da Bocaina até a região do Vale do Ribeira de Iguape.

Predominam formas de relevo denudacionais cujo modelado constitui-se em escarpas e cristas com topos aguçados e topos convexos. As altimetrias variam

desde 20 até 1.000m e as declividades predominantes são superiores a 40%, chegando a 60% em setores localizados das vertentes. Devido ser uma zona com formas de dissecação muito intensas, com vales de grande entalhamento, com alta densidade de drenagem e vertentes muito inclinadas, esta área apresenta um nível de fragilidade potencial muito alto, estando sujeita a processos erosivos pluvio-fluviais agressivos e movimentos de massas espontâneos e induzidos.

#### 5.2.9 Zona Geoambiental (Sb)

A zona geoambiental Sb (Serrania Costeira) possui drenagem com moderada a alta densidade e padrão paralelo a pinado. Possui relevo de escarpas digitadas com muito altas declividades. Esta zona é formada pela unidade metagabros, metadoritos e enderbitos. Consiste numa faixa de encostas com vertentes abruptas

#### 5.2.10 Zona Geoambiental (Sc)

Esta zona Sc (Serrania Costeira) geoambiental possui drenagem de moderada densidade e padrão dendrítico a paralelo, é formada por granitóides gnáissicos e possui relevo de escarpas digitadas. Constitui se numa unidade de formas de dissecação

#### 5.2.11 Zona Geoambiental (Sd)

A zona geoambiental Sd (Serrania Costeira) tem drenagem com moderada densidade e padrão dendrítico à treliça, face ao condicionamento estrutural regional. Possui relevo residuais de morraria costeira. Esta zona é formada pela unidade Leucogranito gnáissico com granada. As altimetrias variam desde 20 até 600m e as declividades predominantes são superiores a 30%. A drenagem apresenta um padrão, face ao condicionamento estrutural regional. Por ser uma unidade de formas de dissecação esta área apresenta uma suscetibilidade de média a alta, estando sujeita a fortes atividades erosivas.

#### 5.3.12 Classificação das Unidades Geoambientais

O total de unidades geoambientais compartimentadas foi de 101, subdivididas nas zonas anteriormente compartimentadas da seguinte forma:

- A zona Ma foi dividida em três unidades geoambientais, sendo a Ma 3 classificada como de moderada suscetibilidade e a Ma1 e Ma2 classificadas como de Alta;
- A zona Mb foi compartimentada em 12 unidades geoambientais com as unidades Mb3,10 e 11 classificadas como de moderada suscetibilidade. As unidades Mb 5,6,7,8 e 12 classificadas como de alta e as unidades Mb 1,2,4 e 9 como de muito alta suscetibilidade
- A zona La foi dividida em duas unidades sendo a La1 de moderada suscetibilidade e a La2 de baixa;
- A zona Lb foi subdividida em 11 unidades geoambientais das quais a Lb 6 foi classificada como de moderada suscetibilidade, as unidades Lb1, 3, 5, 7, 8, 9 e 11 como de alta e Lb 2, 4 e 10 como de muito alta suscetibilidade;
- Na zona Ja foram subdivididas 15 unidades com a Ja4 classificada como de baixa suscetibilidade, já as unidades Ja1,2,5,8 e 12 como de moderada, as unidades Ja3,7,9,10,13 e 15 como de alta enquanto as unidades Já 6,11,14 como de muito alta suscetibilidade;
- Na zona Sa foram subdivididas 25 unidades geoambientais classificadas da seguinte forma Sa20 e 23 como de baixa suscetibilidade, as unidades Sa4 e 24 como de moderada, as unidades Sa3,10,11,13,15,16,17,19,21,22 e 25 como de alta e as unidades Sa1,2,5,6,7,8,9,12,14 e 18 como de muito alta suscetibilidade;
- A zona Sb foi subdivida em 4 unidades geoambientais com as Sb1,3 e 4 classificadas em alta suscetibilidade e a unidade Sb2 em muito alta;
- A zona Sc foi dividida em 5 unidades geoambientais, das quais a Sc2 e 5 foram classificadas como de moderada suscetibilidade e as unidades Sc3 e 4 com de alta e a Sc1 como de muito alta.
- A zona Sd foi subdivida em 12 unidades geoambientais sendo as unidades Sd6,8,9 e 11 classificadas como de baixa suscetibilidade, as unidades Sd2,4 e 10 como de moderada, as unidades Sd3,5,7, e

12 classificadas como de alta e a unidade Sd1 com de muito alta suscetibilidade

- Na zona P foram obtidas 8 unidades com as unidades P2,3,5,e 6 classificadas como de baixa suscetibilidade, as unidades P7 e 8 classificadas como de moderada suscetibilidade, a unidade P4 como de lata e a unidade P1 como de muito alta suscetibilidade.

Resumidamente podemos classificar as unidades geoambientais em: 12 de baixa suscetibilidade, 21 de moderada, 43 de alta e 25 de muito alta suscetibilidade, pode se notar uma concentração das unidades de muito alta na zona Sa. Na tabela abaixo (figura 23), pode se observar a classificação das 101 unidades obtidas segundo os fatores (alterabilidade, permeabilidade, tropia e declividade) como também seus valores para a suscetibilidade ambiental (SA).

Unidades	Alterabilidade	Permeabilidade	Tropia	Declividade	Suscetibilidade Ambiental
Ja1	1	4	4	1	2,36
Ja10	3	3	2	3	2,82
Ja11	2	4	2	4	3,27
Ja12	2	2	2	3	2,36
Ja13	3	3	1	3	2,64
Ja14	3	4	3	4	3,64
Ja15	2	2	3	3	2,55
Ja2	1	3	4	1	2,09
Ja3	3	4	4	1	2,73
Ja4	1	2	1	1	1,27
Ja5	2	3	2	2	2,27
Ja6	2	4	3	3	3,09
Ja7	2	3	3	3	2,82
Ja8	1	3	3	2	2,27
Ja9	1	3	4	3	2,82
Jb1	2	4	2	2	2,55
Jb2	2	4	2	1	2,18
Jb3	2	4	3	3	3,09
Jb4	3	3	2	3	2,82
La1	2	2	3	2	2,18
La2	2	1	1	1	1,18
Lb1	4	3	2	3	3,00
Lb10	2	3	3	4	3,18
Lb11	2	3	3	3	2,82
Lb2	3	4	4	3	3,45
Lb3	2	2	4	3	2,73
Lb4	3	3	3	4	3,36
Lb5	2	2	2	4	2,73
Lb6	2	3	2	2	2,27
Lb7	1	2	3	4	2,73
Lb8	3	3	2	3	2,82
Lb9	2	4	2	3	2,91
Ma1	2	4	2	2	2,55
Ma2	3	3	3	3	3,00
Ma3	1	3	3	2	2,27
Mb1	4	2	2	4	3,09
Mb10	2	3	2	2	2,27
Mb11	3	1	1	3	2,09
Mb12	3	3	2	3	2,82
Mb2	1	4	4	4	3,45
Mb3	2	1	1	4	2,27
Mb4	2	4	4	4	3,64
Mb5	2	3	3	3	2,82
Mb6	2	3	2	3	2,64
Mb7	1	3	4	3	2,82
Mb8	2	2	2	4	2,00
Mb8	2	2	2	4	2,00
Mb9	3	3	4	4	3,55

P1	3	3	4	4	3,55
P2	3	1	2	1	1,55
P3	3	2	1	1	1,64
P4	3	2	2	2	2,18
P5	3	1	1	1	1,36
P6	3	2	2	1	1,82
P6	3	2	2	1	1,82
P7	3	3	2	1	2,09
P7	3	3	2	1	2,09
P8	3	3	1	1	1,91
Sa1	1	3	4	4	3,18
Sa1	1	3	4	4	3,18
Sa1	1	3	4	4	3,18
Sa10	2	3	3	3	2,82
Sa10	2	3	3	3	2,82
Sa10	2	3	3	3	2,82
Sa11	3	3	2	3	2,82
Sa11	3	3	2	3	2,82
Sa12	2	4	3	4	3,45
Sa13	3	2	2	3	2,55
Sa13	3	2	2	3	2,55
Sa13	3	2	2	3	2,55
Sa14	2	4	2	4	3,27
Sa15	4	2	1	3	2,55
Sa16	3	3	3	3	3,00
Sa17	2	3	1	4	2,82
Sa17	2	3	1	4	2,82
Sa18	4	3	2	4	3,36
Sa19	3	3	1	3	2,64
Sa2	2	4	4	4	3,64
Sa2	2	4	4	4	3,64
Sa20	3	2	1	2	2,00
Sa21	2	2	1	4	2,55
Sa22	2	3	2	3	2,64
Sa23	2	1	1	3	1,91
Sa24	3	1	1	3	2,09
Sa25	2	1	2	2	1,73
Sa3	2	3	2	4	3,00
Sa3	2	3	2	4	3,00
Sa3	2	3	2	4	3,00
Sa3	2	3	2	4	3,00
Sa4	3	2	1	3	2,36
Sa4	3	2	1	3	2,36
Sa4	3	2	1	3	2,36
Sa4	3	2	1	3	2,36
Sa4	3	2	1	3	2,36
Sa5	2	4	3	3	3,09
Sa6	2	3	4	4	3,36
Sa6	2	3	4	4	3,36
Sa7	3	3	2	4	3,18
Sa7	3	3	2	4	3,18
Sa7	3	3	2	4	3,18

Sa8	2	3	3	4	3,18
Sa8	2	3	3	4	3,18
Sa8	2	3	3	4	3,18
Sa8	2	3	3	4	3,18
Sa9	2	4	4	4	3,64
Sa9	2	4	4	4	3,64
Sa8	2	3	3	4	3,18
Sb1	3	2	2	4	2,91
Sb2	3	3	3	4	3,36
Sb3	3	3	3	3	3,00
Sb3	3	3	3	3	3,00
Sb4	2	3	3	3	2,82
Sc1	2	3	3	4	3,18
Sc2	2	2	2	3	2,36
Sc3	2	3	2	4	3,00
Sc3	2	3	2	4	3,00
Sc3	2	3	2	4	3,00
Sc3	2	3	2	4	3,00
Sc4	2	3	2	3	2,64
Sc5	2	3	1	3	2,45
Sd1	2	4	3	3	3,09
Sd10	2	2	2	3	2,36
Sd11	2	1	1	1	1,18
Sd12	3	2	2	3	2,55
Sd2	2	3	2	2	2,27
Sd3	2	2	1	4	2,55
Sd4	2	2	1	3	2,18
Sd5	2	3	2	3	2,64
Sd6	2	2	1	2	1,82
Sd7	2	2	2	4	2,73
Sd8	2	1	1	2	1,55
Sd9	2	1	1	3	1,91
Sd9	2	1	1	3	1,91

Figura 23 – Tabela das unidades geoambientais obtidas.

Na figura 24, a carta obtida após a classificação das unidades segundo a suas suscetibilidades ambientais. Esta carta servirá de base para a carta de suscetibilidade ambiental final.

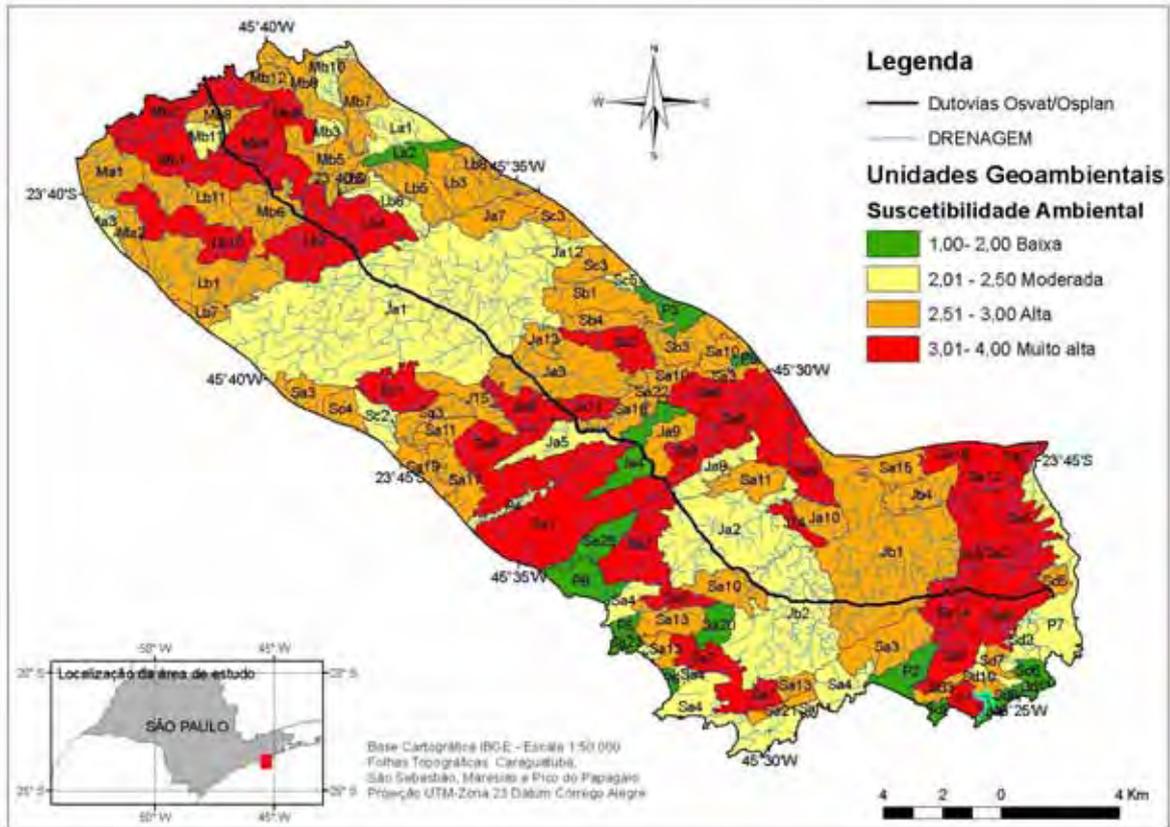


FIGURA 24- REPRESENTAÇÃO DA CARTA DE UNIDADES GEOAMBIENTAIS CLASSIFICADAS SEGUNDO SUA SUSCETIBILIDADE AMBIENTAL PARA A FAIXA DE DUTOS OSVAT/OSPLAN.

### 5.3 Análise morfotectônica

#### 5.3.1 Carta de Lineamentos Estruturais e Traços de Junta

A Carta de lineamentos estruturais e traços de juntas (figura 25), foi obtida mediante a interpretação de imagem na ETM+/Landsat, banda 5 e da rede de drenagem vetorizada, segundo o método sistemático de fotointerpretação. De forma geral em regiões de maciços cristalinos, especialmente em regiões acidentadas, com cortes de grande amplitude – como no caso de dutovias e rodovias – impõe-se a necessidade de se conhecer as direções principais das estruturas, pois estas condicionam a estabilidade dos cortes.

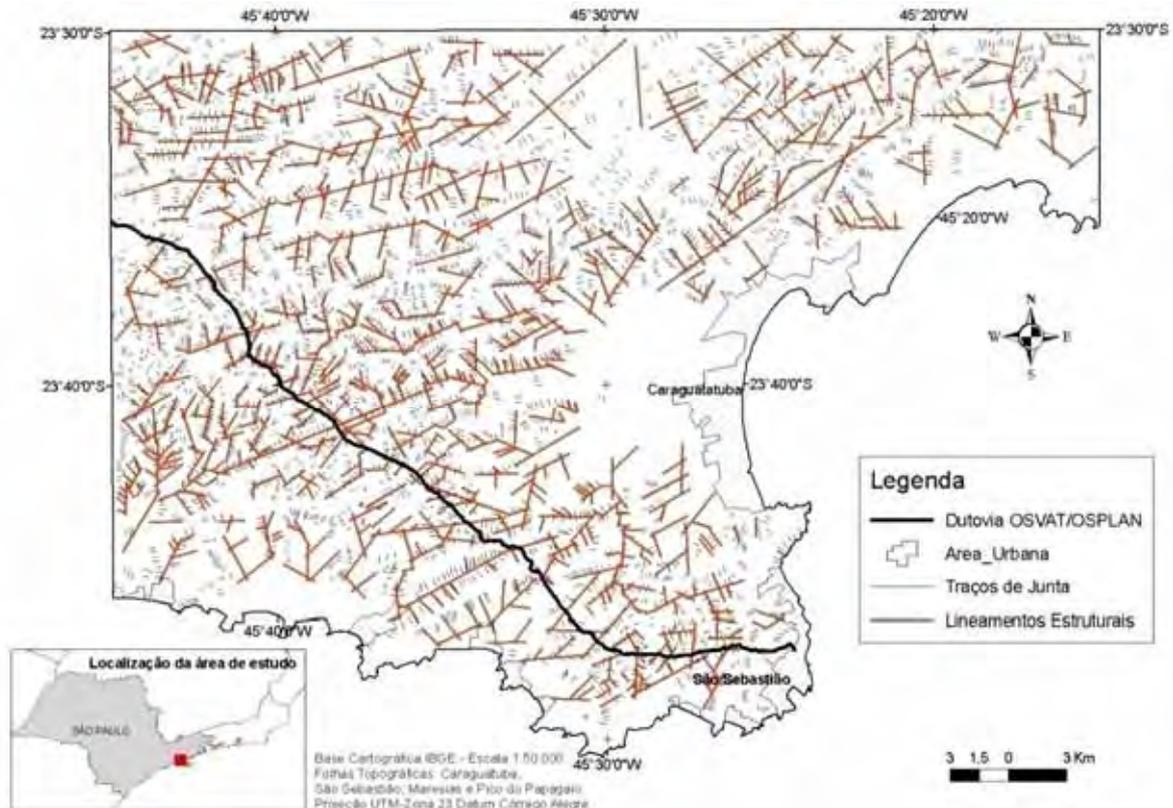


Figura 25- Representação da Carta de Lineamentos Estruturais e Traços de Juntas

Os lineamentos mais proeminentes na área correspondem a Zona de Cisalhamento Camburu, que se trata de um lineamento bem definido com orientação NE, formando um baixo topográfico (vale) no planalto entre o granito Pico do Papagaio e o Augen Gnáissico Jukeí e à zona de cisalhamento Bairro do Alto (Maffra, 2000).

A quantidade de lineamentos estruturais obtida foi de 806 com comprimentos variando de 501 a 15000 metros, a média de comprimentos desses lineamentos é de 1615. Quanto aos traços de juntas foram obtidos 4010, com o comprimento entre 65 a 500 metros e uma média de 256 metros. A área de estudo por apresentar quase em sua totalidade rochas do embasamento cristalino é extremamente fraturada com alinhamentos de relevo e drenagem com extensões quilométricas.

### 5.3.2 Cartas de densidade de Lineamentos Estruturais e de Traços de Juntas

Na Carta de densidade de lineamentos estruturais e traços de juntas (Figura 26), pode-se observar a concentração de traços de juntas bem como dos lineamentos

estruturais na porção NW da área de estudo. Isso é devido à existência das zonas de cisalhamentos Camburu e Bairro do Alto que condicionam fortemente o relevo e a drenagem da região. Na zona de cisalhamento Camburu ocorre o interflúvio das bacias do planalto Paulistano, do planalto de Juqueriquerê e planaltos do Paraitinga e Paraibuna.

Nessa área de intenso fraturamento são favorecidos os processos naturais de alteração e erosão linear ou de fluxo concentrado (ranhura, sulco, vala e ravina) , quando esta é submetida a intervenções humanas como cortes, escavações, aterros para instalação de obras de engenharia. Essas intervenções podem provocar sobrepeso e levar ao desencadeamento de processos erosivos lineares, escorregamentos planares ou em cunha bem como queda de blocos.

Segundo Peter et al (apud Caetano, 2006) é recomendável o uso das cartas de densidade de traços de junta e lineamentos estruturais bem como da análise de freqüência de direção através do diagrama de rosetas, com o objetivo de determinação de áreas intensamente fraturadas.

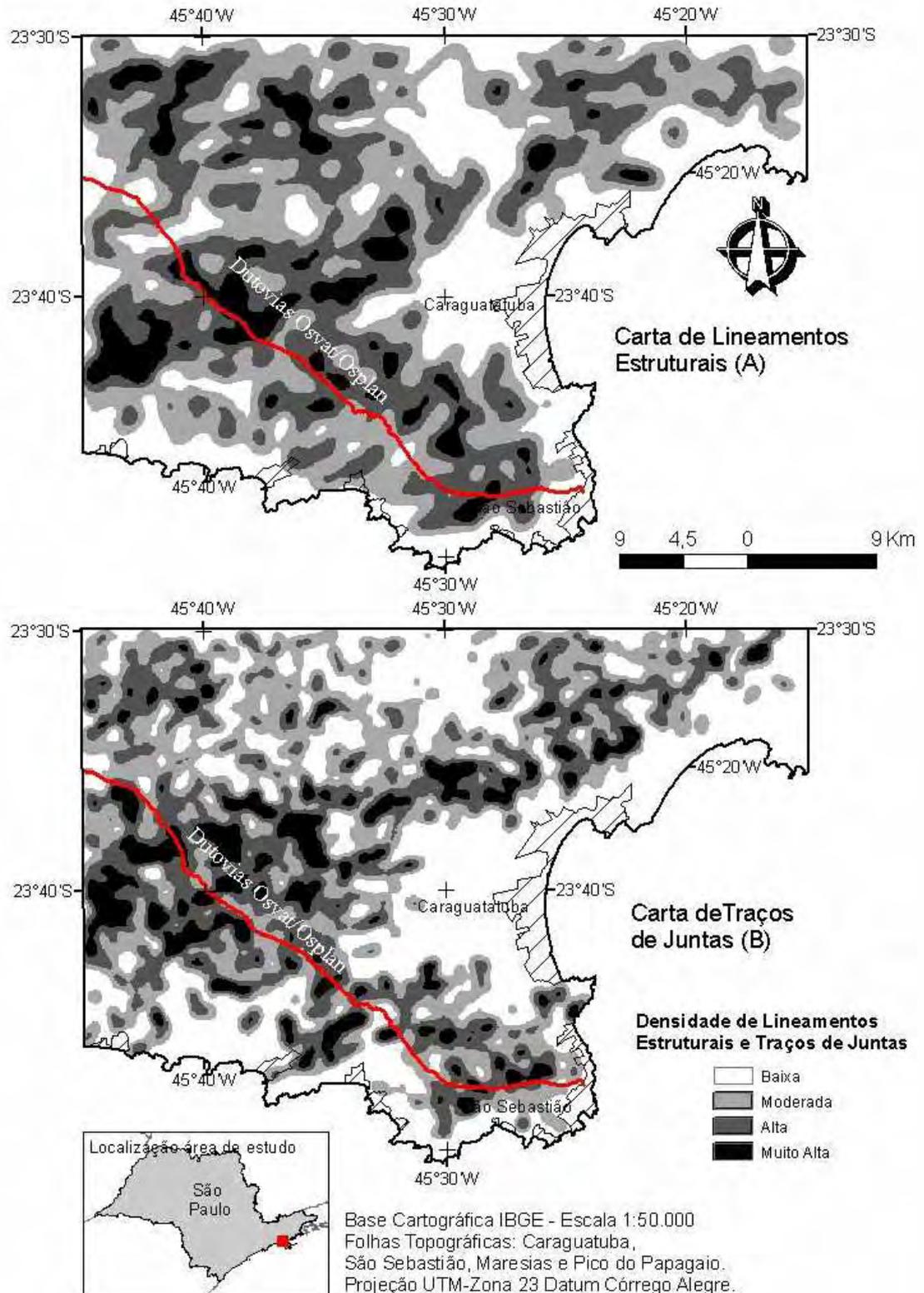


Figura 26 - Representações das Cartas de Densidade de Lineamentos Estruturais (A) e Traços de juntas(B).

No diagrama de rosetas (figura 27), observa-se que as direções preferenciais dos lineamentos estruturais são N20-50W e secundariamente N10W e N50-80E. Quanto aos traços de junta a direção preferencial consiste em N30-40W e a direção secundária é EW.

A faixa de dutos OSVAT/OSPLAN atravessa a área de estudo acompanhando a direção preferencial N20-50W dos lineamentos estruturais e N30-40W dos traços de juntas o que acarreta maior estabilidade a obra. No entanto, o duto corta perpendicularmente a direção secundária N50-80E dos lineamentos estruturais e EW dos traços de juntas, o que gera maior preocupação com estas áreas que caracterizam-se como mais suscetíveis a processos erosivos concentrados e queda de blocos, os quais são condicionados pelas direções dos fraturamentos.



Figura 27- Diagrama de rosetas para os lineamentos estruturais (A) e traços de juntas(B).

Na Figura 28, pode-se observar os lineamentos estruturais filtrados na análise de lineamentos do SPRING, segundo suas direções para o intervalo N50-80E, na faixa de duto OSVAT/OSPLAN.

A predominância de direções de lineamentos leva a crer que estas estão presentes em toda a área de estudo, ou seja, a instalação de obras lineares que cruzem perpendicularmente essas direções estruturais freqüentes condiciona maior atenção nesses trechos específicos, pois estes tendem a apresentar processos erosivos e gravitacionais. Ao observar-se a figura 28, nota-se a existência dessas estruturas em toda a faixa de dutos com concentração próxima a região da zona de cisalhamento Camburu. Nesta área um maior detalhamento é imprescindível devido sua notável complexidade estrutural.

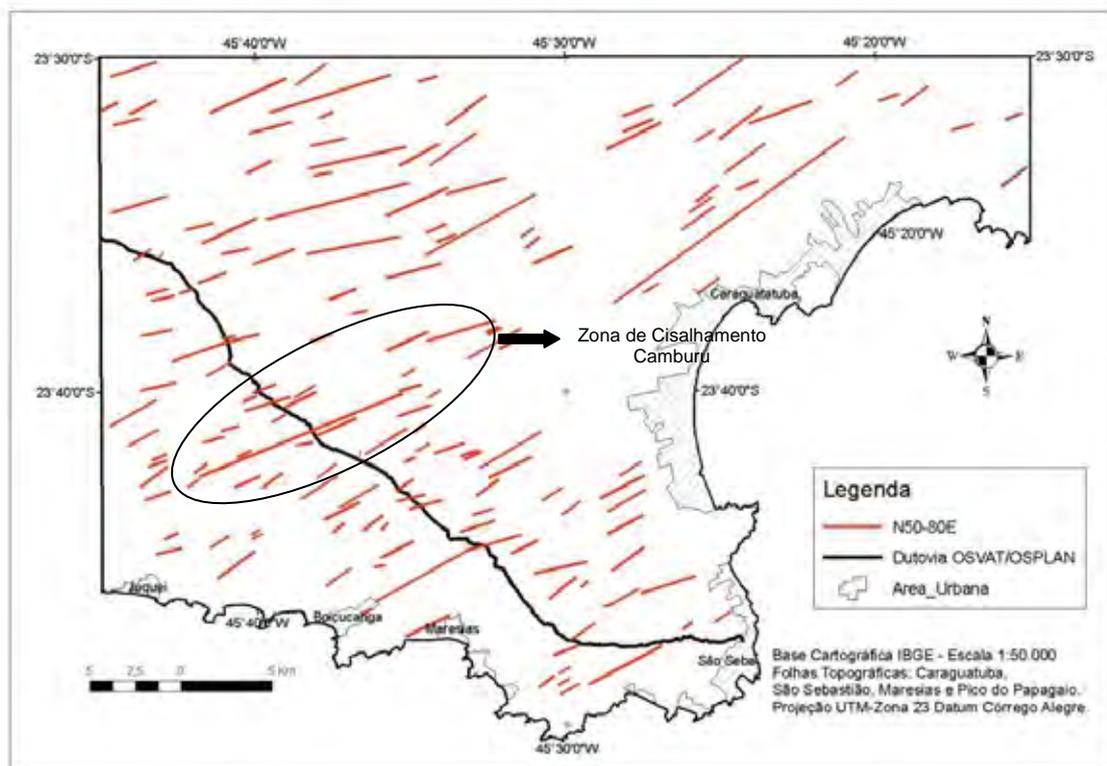


Figura 28 - Representação dos Lineamentos estruturais secundários N50-80E na área de estudo.

A orientação dos lineamentos de relevo e traços de juntas preferencialmente a NW ocorre na área de estudo devido à orientação NE-SW do Cinturão de Cisalhamento Transcorrente Paraíba do Sul.



Figura 29-Diagrama de rosetas dos elementos lineares da drenagem da área de estudo.

A drenagem da área de estudo possui distribuição isotrópica, conforme o diagrama de rosetas (Figura 29), apenas a direção N20-30W se destaca das demais. Comparando se o resultado obtido com o dos traços de juntas e lineamentos de relevo percebe se o forte condicionamento da drenagem por estas estruturas.

### 5.3.3 Carta de Zonas de Variação de Máximos 1 e 2

A carta de Zonas de Variação de Máximos 1 e 2 (figura 30-A) foi obtida da carta de Máximos 1 e 2 de traços de juntas (figura 30-B). Conforme Mattos et al (2002), a análise de traços de junta em máximos 1 e 2 tem como objetivo determinar o processo de deformação regional e onde estes mudam bruscamente de direção, determinando as zonas onde existe uma variação no regime de campo de tensão da deformação, determinando áreas de maior fraturamento, ou seja, suscetibilidade a erosão .

As áreas mais fraturadas são aquelas onde há variação de máximos 1 e 2 concomitantemente. Seguidas daquelas em que há variação somente dos máximos 1 e finalmente variação somente no máximo 2. As zonas de variação de máximos de fraturamentos indicam zonas tectonicamente muito ativas. São áreas fraturadas em várias direções caracterizando materiais muito alterados, ou seja, muito decompostos, materiais estes que podem ser considerados como muito suscetíveis a escorregamentos.

Na área de estudo, mais especificamente no trecho da dutovia próxima a zona de escarpas festonadas voltadas a para o município de São Sebastião, ocorre uma zona de variação de máximos 1 e 2. Assim sendo, esta configura numa área de grande instabilidade ambiental com prováveis processos erosivos e gravitacionais, nesta área localiza se o sistema de cavalgamento São Sebastião. Outras zonas de variação de máximos ocorrem na região N da área de estudo na faixa de cisalhamento transcorrente Camburu.

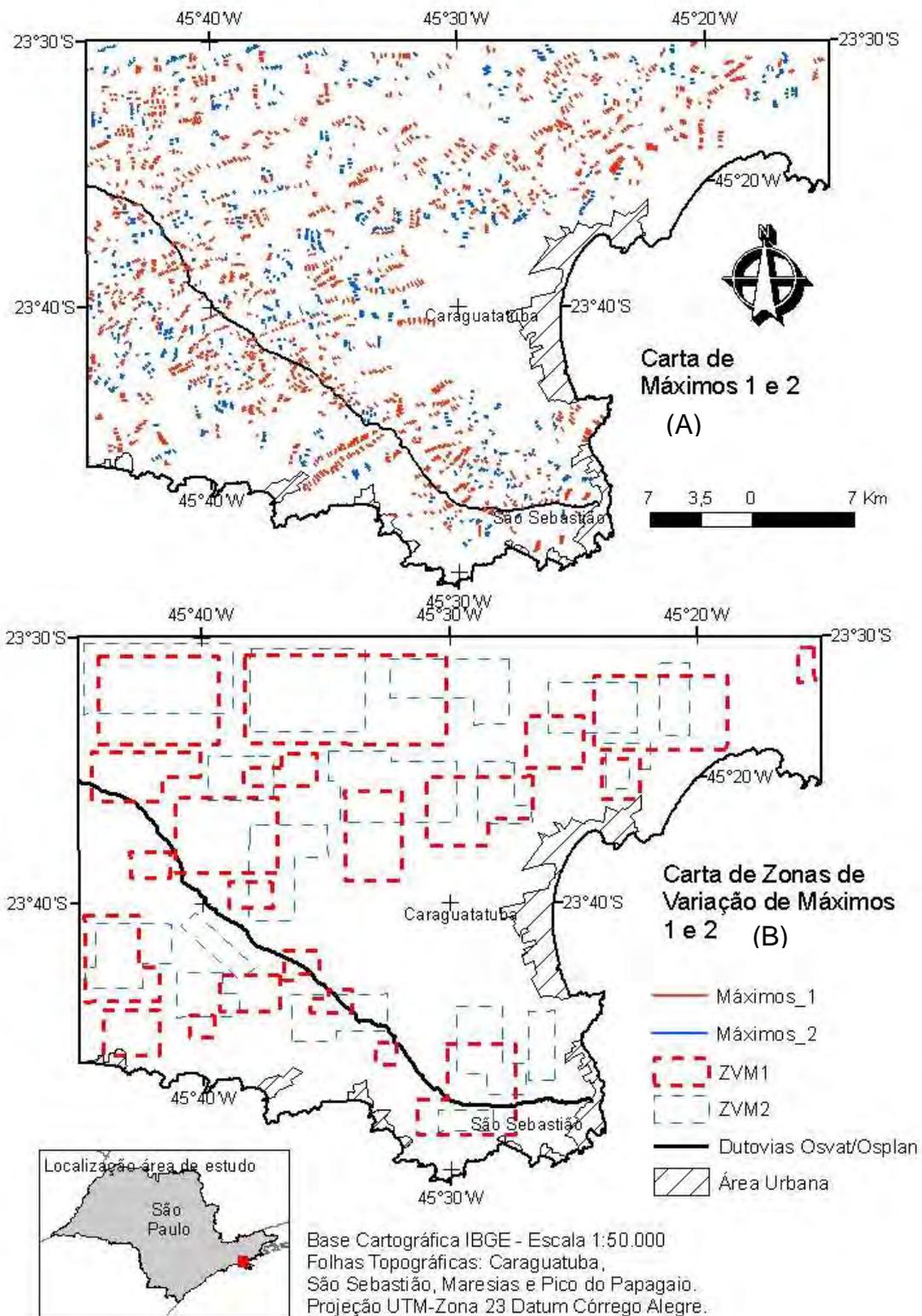


Figura 30 Representação das Cartas de Máximos 1 e 2 (A) e das Zonas de variação de máximos 1 e 2 (B).

#### 5.3.4 Carta de Densidade de Cruzamentos de Lineamentos Estruturais

A carta de Densidade de Cruzamentos de Lineamentos Estruturais (figura 31) foi obtida da carta de Cruzamentos de Lineamentos Estruturais. A carta de densidade de cruzamentos permite realizar a avaliação em contexto regional das zonas de intenso cruzamento de fraturamentos.

Na figura 31, pode se observar um eixo principal de intensidade de ocorrência de lineamentos e cruzamentos que se estende da porção leste até a porção norte da área de estudo, com direção SW-NE representativa da Zona de Cisalhamento Camburu. Na porção NW da área de estudo ocorre uma concentração de cruzamentos na região da zona de cisalhamento Bairro do Alto.

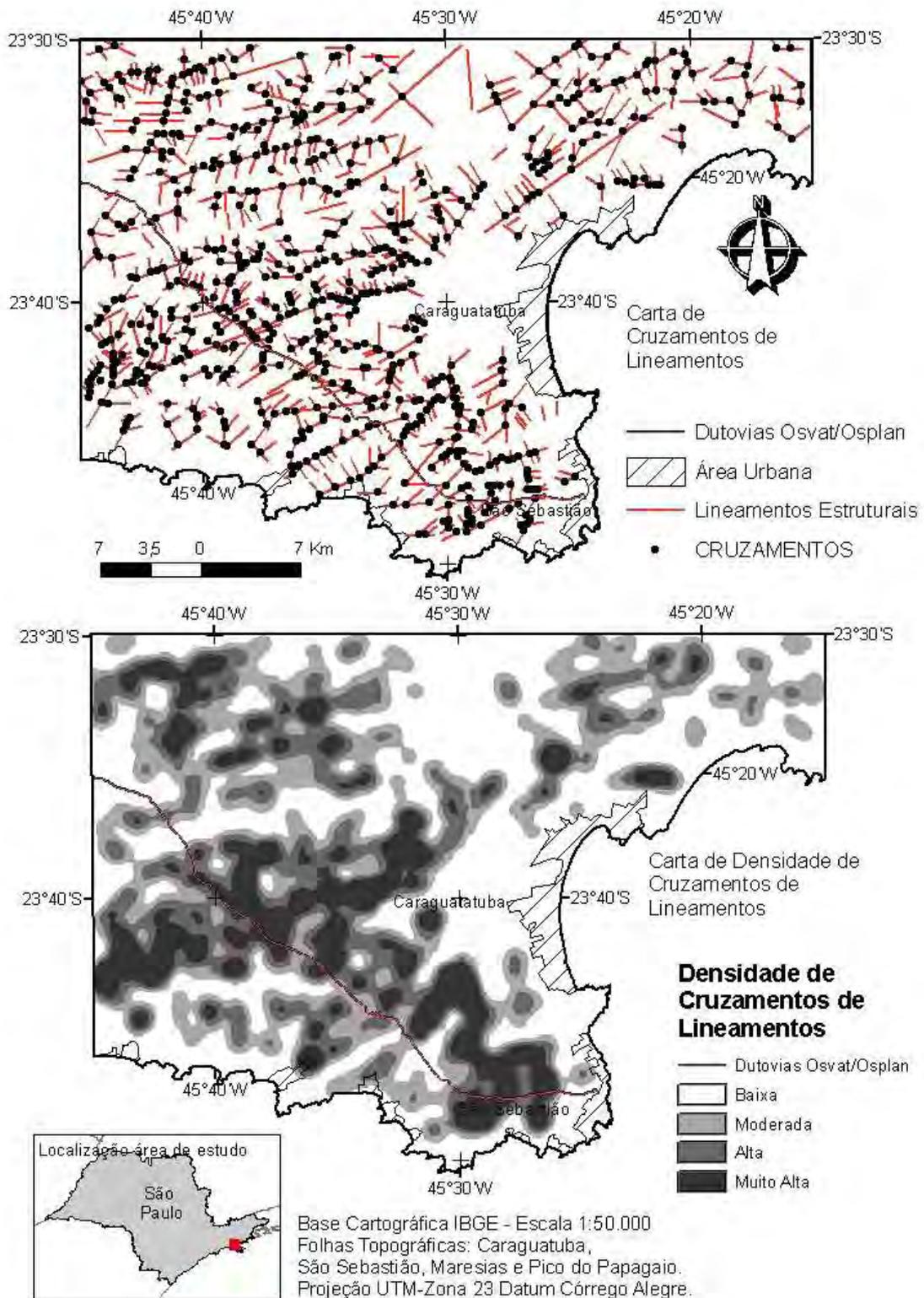


Figura 31 - Representação da Carta Cruzamentos de Lineamentos e Densidade de Cruzamentos.

#### 5.4 Carta de Suscetibilidade Ambiental (CSA)

Utilizando-se do princípio da convergência de evidências se realizou a integração das informações obtidas na área, para estabelecer, em caráter regional, as áreas mais suscetíveis a processos gravitacionais e erosivos na faixa de dutos Osvat/Osplan, ou seja, a carta de unidades geoambientais classificadas segundo suas suscetibilidades ambientais a processos erosivos e gravitacionais, a carta de zonas de variação de máximos 1 e 2 e a carta morfoestrutural integradas originaram a Carta de Suscetibilidade Ambiental (CSA) .

As áreas assinaladas na carta referentes as zonas de variação de máximos 1 e 2 não correspondem a limites nítidos no terreno. São regiões que sobre o ponto de vista do meio físico e de feições estruturais (juntas e lineamentos estruturais) apresentam-se como mais favoráveis e recomendadas a pesquisas de semi-detulhe ou de detalhe.

As demais cartas elaboradas a partir das cartas de lineamentos estruturais e traços de juntas apesar de não integradas a CSA tem função de ajudar na melhor compreensão da área.

As análises morfoestrutural e de fraturamento foram feitas para uma área de maior extensão devido à necessidade de uma visão regional dessas estruturas, já as unidades geoambientais foram definidas para a faixa de dutos (354 Km<sup>2</sup>). O produto final, onde houve a integração das cartas, foi elaborado na escala 1:50.000 e plotado na escala 1:100000 (Anexo I). A CSA da faixa de dutos OSVAT/OSPLAN foi incorporada uma nota referente ao entendimento técnico da legenda da CSA (Quadro 7).

Observando se a faixa mapeada nas ortofotos de resolução de 1 metro (figura 32) identificou-se no trecho NW feições de escorregamentos. Este ponto esta relacionado a uma zona de cisalhamento intenso (Zona de Cisalhamento Camburu) e esta sujeita a desestabilização dos maciços acompanhados de movimento de massa.

<b>Carta de Suscetibilidade Ambiental (CSA) a processos gravitacionais e erosivos</b>			
<b>Unidades Geoambientais - Suscetibilidade ambiental</b>			
<b>Baixa</b>	<b>Moderada</b>	<b>Alta</b>	<b>Muito Alta</b>
Apresenta baixas restrições ao uso e ocupação. Exige manutenção mínima em condições naturais.	Restrições moderadas ao uso, requerendo obras de pequeno porte para manutenção do equilíbrio eco-dinâmico.	Áreas com fortes restrições a o uso e ocupação. Densa infraestrutura para instalação e manutenção de obras lineares.	Não recomendada sua ocupação, sem que haja estudo prévio para se estabelecer obras de sustentação à ocupação específica.
<b>Análise Morfoestrutural</b>			
<b>Ae/At</b>	<b>Ae/Bt</b>	<b>Be/Bt</b>	<b>Be/At</b>
Área com forte intemperismo e forte erosão. Zonas intensamente fraturadas com sistemas abertos, quando sofrem intervenção antrópica se desestabilizam com facilidade. Local inadequado a instalação de obras lineares.	Área com forte intemperismo e erosão moderada a forte. Local com moderadas a inaquedadas condições para instalação de obras lineares.	Possui intemperismo de moderado a forte e forte erosão. Local inadequado a instalação de obras lineares.	Área com fraco intemperismo e erosão de moderada a forte. Local com moderadas a inaquedadas condições para instalação de obras lineares.
<b>Zonas de Variação de Máximos</b>			
Estas zonas são consideradas como de instabilidade, pois sofreram ou sofrem forte influência deformacional rúptil, de compressão ou descompressão. Essas áreas devem ser analisadas com atenção especial ao fluxo d'água subterrâneo orientado que pode levar ao desencadeamento de processos de alteração do material, erosão inicialmente concentrada evoluindo para laminar e movimentos de massa gravitacionais.			
<b>ZVM 1</b>	<b>ZVM 2</b>	<b>ZVM 1 e 2</b>	
Áreas muito instáveis submetidas à pelo menos 2 direções de esforços.	Áreas instáveis submetidas à pelo menos 2 direções de esforços.	Áreas muito instáveis, pois submetidas à pelo menos 4 direções de esforços.	

Quadro 5- Notas sobre a legenda da Carta de Suscetibilidade Ambiental.

A unidade Mb1 onde estão localizadas essas feições foi classificada como de muito alta suscetibilidade ambiental, ou seja, não recomendada sua ocupação, sem que haja estudo prévio para se estabelecer obras de sustentação à ocupação específica, conforme explicitado na legenda (quadro 7).

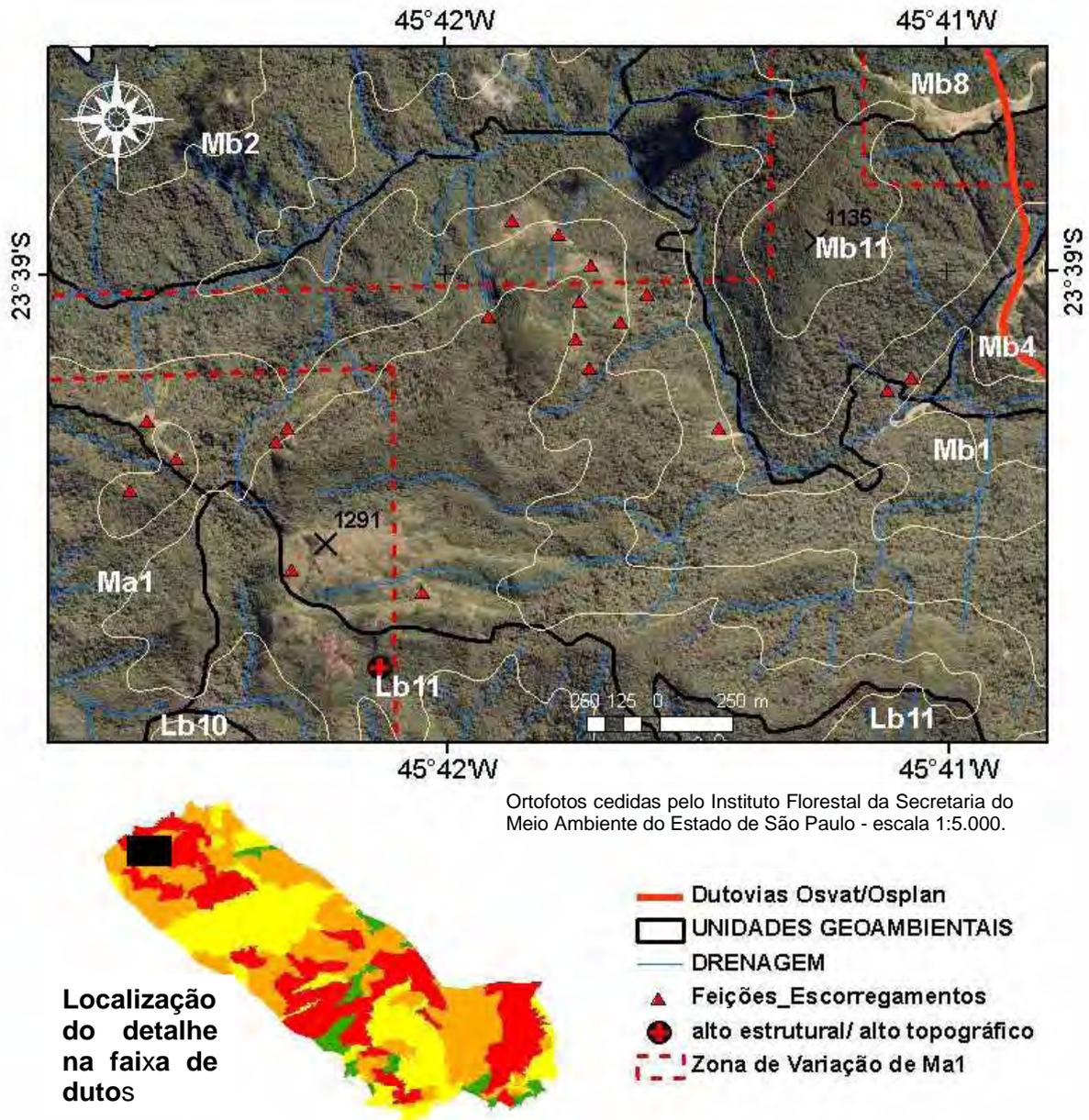


Figura 8

Figura 32 – Detalhe de área na faixa de dutos de pontos de feições de escorregamentos.

Estão localizadas nessa área zonas de variação de máximos 1 (ZVM1) e um alto estrutural/alto topográfico, todo esses elementos associados determinam a existência dessas feições de escorregamentos, confirmando as afirmativas feitas neste trabalho. Neste exemplo estabelece se a mais complexa associação possível de elementos ambientais deflagradores de processos gravitacionais e erosivos que podem atingir a faixa de dutos Osvat/Osplan, nestas situações estudos mais detalhados são necessários para melhor contenção e monitoramento de possíveis impactos que atingiriam o duto.

## VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto orbital aplicado ao estudo integrado do meio físico contribuiu com extremo valor ao procedimento metodológico utilizado, fornecendo subsídios para a elaboração da carta de Suscetibilidade Ambiental (CSA) a processos gravitacionais e erosivos.

A área de estudo por encontrar-se totalmente inserida no Embasamento Cristalino em trecho do cinturão de cisalhamento transcorrente Paraíba do Sul possui grande complexidade estrutural. Essas características garantem maior preocupação com instabilidades como escorregamentos e processos erosivos. Incorporando-se a essas características as altas declividades e as chuvas concentradas do ambiente tropical úmido reforça-se a ideia de que esta área pode ser considerada como uma das mais complexas do território brasileiro. De acordo com esta afirmativa, obras de engenharia instaladas nesse ambiente – como no caso a dutovia OSVAT/OSPLAN - devem receber atenção redobrada, através de monitoramento constante, para evitar acidentes que causem impactos ambientais e socioeconômicos.

As obras lineares possuem especificidades quanto a sua escala de interferência - muitas vezes continentais - portanto necessitam de estratégias que viabilizem tecnicamente e financeiramente esses mapeamentos. O uso de tecnologias de sensoriamento remoto na compartimentação de zonas geoambientais comporta esses dois objetivos, pois permite o desenvolvimento desse trabalho a baixos custos e sua eficiência técnica.

No caso de obras lineares a análise de fraturamentos é imprescindível, pois permite uma análise regional das estruturas condizente com a escala destas obras, deste modo conhecendo as direções principais dos fraturamentos de determinada região garante-se melhores escolhas quando da definição de traçados e estratégias para a gestão e manutenção de dutovias. Em se tratando de um ambiente tão complexo estruturalmente como o da área de estudo essa análise é ainda mais importante.

As obras lineares devem sempre evitar cruzar perpendicularmente ou ortogonalmente as áreas intensamente fraturadas. Devem evitar áreas com alta

freqüência de lineamento e de cruzamento de lineamentos, pois são áreas sujeitas à percolação de água, sendo, portanto muito instáveis. A carta de suscetibilidade ambiental procura determinar áreas mais favoráveis a eventos geodinâmicos gravitacionais e erosivos. Este possui informações sobre o meio físico, de interesse para as ações de planejamento ambiental e a concepção de obras de infraestrutura. A integração das cartas: Morfoestrutural, de zonas de variação de máximos 1 e 1 e de unidades geoambientais, permitiu localizar na faixa de dutos as áreas que necessitam de estudos mais detalhados, de forma a evitar acidentes que possam atingir os dutos OSVAT/OSPLAN, permitindo inclusive determinar as áreas com maior necessidade de monitoramento constante dentro da faixa.

Dessa análise integrada foi elaborada uma carta com propósito de criar uma ferramenta de gestão acessível a qualquer profissional da área ambiental, ou seja, tornar mais sistemática e operacional a utilização dos procedimentos de integração de dados ambientais.

Todos os dados e as informações obtidas foram armazenados em um banco de dados geográfico digital georreferenciado (BDGDG) em um ambiente de sistema de informação geográfica (SIG), o que facilitou a manipulação, a visualização, a atualização e a reprodução dos mesmos. Além do mais a elaboração de um banco de dados espacial permite a busca e o relacionamento rápido de dados e informações, como também permitirá aos usuários e planejadores análises direcionadas a objetivos específicos.

## VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Contribuição à geomorfologia do litoral paulista. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro, n.1, p.3-44, 1955.

ALMEIDA, F. F. M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista in **Geologia do Estado de São Paulo Boletim Instituto de Geografia e Geologia**, São Paulo, nº 41, p. 169-263, 1964.

ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO C. D. Origem e Evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências**, V. 28 – nº 2, p. 135-150, jun.1998.

BIGARELLA, J.J.; BECKER R. D. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1996. 875p.

CAETANO, N. R. **Procedimentos metodológicos para o planejamento de obras e usos: uma abordagem geotécnica e geoambiental**, Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

CAMPANHA, G.A.C.; ENS, H.H.; PONÇANO, W.L.; Análise morfotectônica do planalto do Juqueriquerê, São Sebastião, **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, v.24, n.1, p.32-42, 1994.

CAMPANHA, G.A.C.; ENS, H. H. Estrutura geológica da região da Serra de Juqueriquerê, São Sebastião, **Boletim IG-USP. Série Científica**, 27: p. 41-49,1996.

CARDOSO, D. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto na compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: EDUSP, 150 p. 1974.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise topológica de redes fluviais. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, 3(6): p. 5-29,1973.

COLOGNA, F. S. **Elaboração de um sistema integrador de informações geoambientais para parte do município de São Sebastião e Caraguatatubaitoral Norte Paulista**, Monografia (TF) – UNESP - IGCE, Rio Claro, 80p., 2003.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Estudo da vulnerabilidade a movimentos de massa no município de São Sebastião. **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2001, Foz do Iguaçu. CD-ROM. São José dos Campos : MCT-INPE e SELPER, 2001.

CRISÓSTOMO NETO, A. P. **Mapeamento Geoambiental por imagem de satélite do Vale do Paraíba**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2003.

CRUZ, O. A **Serra do Mar e o Litoral na área de Caraguatatuba-SP: Contribuição a Geomorfologia Litorânea Tropical**, Tese (Doutoramento em Geografia): FFCLH depto Geografia, USP, 1974.

DE MARTONNE, E. Problemas Morfológicos do Brasil Tropical Atlântico **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, Nº 4, p. 3-27, 1943.

FERNANDES, N. F.; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: uma abordagem geológica-geomorfológica. In: GUERRA, A. T.; CUNHA, S. B. (Ed.). **-Geomorfologia e Meio Ambiente** – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, , 1996. Cap. 3, p. 123-124.

FIORI, A. P. Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas. **Boletim Paranaense de Geografia**, n. 43, p. 7-24, 1995.

FRANZONI, A.M.B. **Avaliação do meio físico para fins de planejamento geoambiental no traçado e manutenção de rede viárias: Ilha de Santa Catarina**, Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

GARDA, G.M. **Os diques básicos e ultrabásicos da região entre as cidades de São Sebastião e Ubatuba, estado de São Paulo**. Tese(Doutorado em Mineralogia e Petrologia)-Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 1995.

GUTBERLET, J. Zoneamento da Amazônia: uma visão crítica. **Estudos Avançados**, Universidade de São Paulo. Instituto de Estudos Avançados. 16(46), p. 157-174, 2002.

Guy, M. **Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photo-interpretation**. In: Symposium International de Photo-Interpretation, 2, 1966, Paris. II Symposium International de Photo- Interpretation: Acte, 1966, v.1, p.21-41.

HASSUI, Y.; MIOTO J.A. **Geologia Estrutural Aplicada**. Coordenadores Yociteru Hasui e José Augusto Mioto. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia: Votorantim, 1992.

IBAMA **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – O conhecimento técnico-científico voltado para instrumentos de planejamento de gestão ambiental, gerenciamento de bacias hidrográficas e zoneamento ambiental**, Brasília, 1994.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo** - São Paulo: IPT. Escala 1: 1000000, 1981.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Ocupação de encostas**. São Paulo: IPT, publicação 1991, 216 p.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; NUNES, E.; MATTOS, J.T. Caracterização fisiográfica da folha São José Mipibu - RN. **Revista de Geociências**, São Paulo, v.12, n.2, p. 481-491, 1993.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; LANDIM, P.M.B.; MATTOS, J.T. Gerenciamento geoambiental. In: Tuk-Tornisielo, S.M.; Gobbi, N.; Foresti, C.; Lima, S.T. (orgs.) **Análise Ambiental: estratégias e ações**. São Paulo: T.A. Queiroz, Fundação Salim Farah Maluf; Rio Claro, SP: Centro de Estudos Ambientais – UNESP, p. 327- 329, 1995.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. MATTOS, J.T; DAITX, E.C.; CAETANO, N.R. **Mapa Pedológico do gasoduto Bolívia-Brasil**. Relatório Final. Rio Claro, IGCE/UNESP, 2005.

JORGE, M.C.O.. **Zoneamento Ambiental do município de Ubatuba-SP.** Dissertação(Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

KOBIYAMA M. & et. al. **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos.** Curitiba: Ed. Organic Trading. : il., tabs. 109p. 2006.

LESPCH, I. F. **Formação e conservação dos solos.** São Paulo: Oficina de Textos. 2002,178p.

LOCZY, L.; LADEIRA, E. A. **Geologia Estrutural e introdução a geotectônica.** São Paulo: Editora Blucher. 1976, 528p.

MAFFRA, C.Q.T. **Geologia estrutural do embasamento cristalino na região de São Sebastião, SP: evidencias de um regime transpressivo.** Dissertação (Mestrado em geoquímica e geotectônica)- Instituto de Geociências, USP, São Paulo, 2000.

MARCELINO; E. M. **Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos no município de Caraguatatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto.** Dissertação(Mestrado em Sensoriamento Remoto) INPE - São José dos Campos, 2003.

MATTOS, J. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. A Serra do Mar e seus estágios intempéricos avaliados por dados geopedoquímicos e de sensoriamento remoto. In: **Simpósio Latino Americano de Percepción Remota**,5, Cuzco: Selper, 1991.

MATTOS, J. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; OHARA, T; MENDES, M.L. DE B.; SANTANA, M. A. Critérios para mapeamento de classes a erosão de solos em imagens TM-Landsat. In: **Simpósio Latino Americano de Percepción Remota.** Cochabamba: Selper, 2002.

MAZZOCATO, M. E. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao planejamento urbano da bacia do Rio Uma: município de São Sebastião, SP.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)-INPE, São José dos Campos, 196 p., 1998.

MONTEIRO, C. A. F **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo.** UNESP Rio Claro/CEAPLA, (CD), 2000.

MORALES, N. **Neotectônica em ambiente intraplaca: exemplo da região sudeste do Brasil** (sistematização crítica da produção científica). Tese livre docência, Rio Claro, 2006, 201p.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**, IBGE, Departamento de recursos Ambientais: Rio de Janeiro, 1989, 422 p.

NOGUEIRA JUNIOR, J.; MARQUES A. S. Linhas de Transmissão e Dutos In: Oliveira, A. M. S.; Brito S. N. A. (Orgs.) **Geologia de Engenharia** - São Paulo: ABGE, p.475-497. 1998.

OHARA, T. **Zoneamento geoambiental da região do alto-médio Paraíba do Sul (SP) com sensoriamento remoto.** Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 225p. 1995.

OKIDA, R. **Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e inundações.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)-INPE, São José dos Campos, 147 p., 1996.

O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. **Lineament, linear, lineation: some proposed new Standards for old terms.** Geol. Soc. of Am. Bul., n. 87, p. 1463-1469, 1976.

OLIVEIRA, J. B. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo.** Campinas – Instituto Agrônomo. 4 mapas, color., 68 cm x 98 cm. Escala 1:500.000. 1999. acompanha legenda expandida.

PUPIM, F. N.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J. T.; Caracterização do potencial de erodibilidade através da sistemática morfoestrutural e morfotectônica aplicada a obras lineares-dutos. In: **4º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás** Campinas, 2007.

RIEDEL, P. S. **Condicionantes estruturais na estabilidade de taludes: Uma abordagem regional, com apoio de técnicas de sensoriamento remoto.** Tese de doutorado USP - São Carlos: Escola de Engenharia. 260 p. 1994.

RIVEREAU, J.C. **Curso de fotointerpretação: notas de aulas.** Série Didática. Brasília, Departamento de Geociências - UNB, n. 4, 1972, 128p.

RODRIGUES, R. **Características geológicas e geotécnicas intervenientes na estabilidade de massas coluviais da Serra de Cubatão – SP.** Dissertação (Mestrado) USP - São Carlos: Escola de Engenharia, 116p., 1992.

RODRIGUES, R.M. **Estudo e caracterização do meio físico da bacia do Rio Camboriú/SC, visando zoneamento geoambiental.** 2000, 73 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

ROSS, J. L. Geomorfologia Ambiental. In: Cunha, S. B. & Guerra, A. T. (orgs). **Geomorfologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 1998.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo - SMA. **Ortofotos Digitais.** Plano de Preservação da Mata Atlântica. Instituto Florestal. São Paulo: 2000.

SÃO PAULO (CETESB) **Dutos no estado de São Paulo. Disponível em:** [www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/dutos/dutos](http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/dutos/dutos) . Acessado em 20 de fevereiro de 2008.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMA-São Paulo) **Macrozoneamento do litoral Norte-Plano de Gerenciamento Costeiro.** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente (Série Documentos) 202 p. 1996.

SHIMBO, J. Z. **Zoneamento Geoambiental como subsídio aos projetos de reforma agrária. Estudo de caso: Assentamento Rural Pirituba II (SP).** Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

SOARES, P. C.; FIORI, A.P. Lógica e Sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**. Vol. 6, n.32, p.71-104, 1976.

TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. **Notícia Geomorfológica**, Campinas-SP, 8(15) : p.5-18, jun. 1968.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE, 54p.1982.

VENEZIANI, P. **Fotogeologia com imagens orbitais - e definições fundamentais**. Roteiro de estudos. São José dos Campos: INPE, 1991.

VILLOTA, H. El sistema CIAF de clasificacion fisiografica del terreno. Revista CIAF, Colômbia, v. 13, nº1 p. 55-70, 1992.

ZUQUETTE. L.V. **Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras**. Dissertação(Mestrado em Engenharia Civil)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ZUQUETTE. L.V. **Uso e importância do mapeamento geotécnico na avaliação do meio físico**. Tese(Livre Docência) -Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.

ANEXO 1 - Carta de Suscetibilidade Ambiental (CSA) a processos gravitacionais e erosivos

