

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

CARTA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA COMO SUBSIDIO A ELABORAÇÃO DE
CARTAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL, A DERRAMES DE PETRÓLEO E
DERIVADOS, NA REGIÃO DO OLEODUTO “GUARAREMA-SÃO JOSÉ DOS
CAMPOS”, VALE DO PARAÍBA (SP).

ÉRICA MANTOVANI DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

Dissertação de Mestrado
elaborada junto ao Programa
de Pós-Graduação em
Geociências e Meio Ambiente
– Unesp - Campus de Rio
Claro como parte das
exigências para obtenção do
Título de Mestre em
Geociências e Meio
Ambiente.

Rio Claro (SP)

2009

Oliveira, Érica Mantovani de

Carta geológico-geotécnica como subsídio a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental, a derrames de petróleo e derivados, na região do oleoduto “Guararema-São José dos Campos”, Vale do Paraíba (SP) / Érica Mantovani de Oliveira. – Rio Claro : [s.n.], 2009

99 f., figs., tabs., fots., mapas

Dissertação de mestrado (Mestre em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Orientador: José Eduardo Zaine

1. Carta Geológico-Geotécnica. 2. Sensibilidade Ambiental. 3. Vale do Paraíba. I. Título

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI – Biblioteca de UNESP
Campus de Rio Claro/SP

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Paulina Setti Riedel

Dra. Lucília do Carmo Giordano

Prof. Dr. José Eduardo Zaine
Orientador

Érica Mantovani de Oliveira
Aluna

Rio Claro, 24 de Abril de 2009

Resultado: APROVADA

À minha mãe e irmão,
Teresinha e Arthur e ao
meu querido
companheiro Marcelo,
pelo amor e apoio em
todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a DEUS pelo dom da vida, pela saúde e força para superar barreiras.

À minha Família, em especial a minha mãe Teresinha e meu irmão Arthur, pelo apoio e pelas dificuldades que superamos juntos.

Ao Meu Querido Marcelo, obrigada pela amizade, cumplicidade, companheirismo e incentivo nas etapas finais do mestrado.

Ao meu orientador, José Eduardo Zaine, pelo apoio, amizade, orientação e estímulo na elaboração deste trabalho.

Ao PRH-05 (ANP) pelos dezoito meses de bolsa de estudos concedida. Ao professor Dimas Dias Brito e ao secretário do PRH-05, José Maria, pelo apoio ao projeto.

Agradeço ao professor Léo, pela amizade e ajuda neste trabalho.

À Poente Engenharia, pelas horas cedidas para a execução do trabalho. Aos meus colegas de trabalho e amigos, pela amizade e brincadeiras nos momentos de estresse.

À Unesp, em especial aos Professores e Funcionários, do DGA e DPM, que sempre nos ajudaram.

Aos funcionários da biblioteca pelo carinho e auxílio em todas as horas.

A todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, auxiliaram nas etapas deste trabalho.

De tudo ficaram três coisas: a certeza de que ele estava sempre começando, a certeza de que era preciso continuar e a certeza de que seria interrompido antes de terminar... Fazer da interrupção um caminho novo. Fazer da queda um passo de dança, do medo uma escada, do sono uma ponte, da procura um encontro.

Fernando Sabino.

“Fica, pelo menos, uma verdade: só existe uma forma de adquirir experiência: experimentando”.

AGRA

RESUMO

A presente pesquisa propôs a elaboração da carta geológico-geotécnica na região do oleoduto “Guararema – São José dos Campos” com o intuito de subsidiar a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento de petróleo e derivados, no Vale do Paraíba. A área estudada localiza-se no leste do estado de São Paulo e caracteriza-se pelo contraste de relevo entre as Colinas Sedimentares da Bacia de Taubaté e os Morros Cristalinos das serras do Mar e Mantiqueira; pela diversidade litológica (gnaisse, xistos, granitos, arenitos, argilitos, siltitos, entre outras); pela presença do rio Paraíba do Sul, da represa de Santa Branca e de Áreas de Proteção Ambiental. Esta área é cortada pelo duto que parte do Terminal de Guararema, seguindo até a Refinaria de São José dos Campos e já foi alvo de acidentes relacionados com dutovias (1987, 1994 e 1998). Tais acidentes podem ocorrer novamente, ameaçando a qualidade ambiental da área. As cartas de sensibilidade ambiental, podem auxiliar na redução das consequências ambientais do vazamento e tornar eficientes os esforços de contenção e limpeza/remoção, além de servir como suporte técnico a outras atividades socioeconômicas e de gestão ambiental. O método utilizado para a execução do trabalho foi composto por: 1. Pesquisa Bibliográfica; 2. Preparação de Base Cartográfica; 3. Compartimentação do Terreno, Caracterização do Meio Físico, através do método de Unidades Básicas de Compartimentação - UBCs e elaboração de carta preliminar; 4. Trabalho de Campo; 5. Definição dos condicionantes do meio físico; 6. Elaboração da carta Geológico-Geotécnica e; 7. Elaboração da Dissertação. Como resultado, obteve-se os condicionantes do meio físico de interesse às cartas de sensibilidade ambiental para áreas terrestres (tipo de relevo e suas formas; declividade das encostas; tipos de drenagens e o fluxo superficial; tipos de solos e rochas e suas características – descontinuidades, porosidade, permeabilidade/infiltração, capacidade de recarga do aquífero e potencial de retenção do contaminante – e fluxo subterrâneo) e a carta geológico-geotécnica da região do duto contendo sete unidades básicas de compartimentação (unidades geotécnicas): uma na região de planícies fluviais, duas na região de colinas sedimentares e quatro na região de morros cristalinos.

Palavras chave: Carta Geológico-Geotécnica; Sensibilidade Ambiental, Jacareí, Vale do Paraíba, Petróleo.

ABSTRACT

The present work proposed to elaborate a geological-geotechnical map, for the “Guararema-São José dos Campos” pipe-line to subside the elaboration of Environmental Sensitivity to Oil and Derivatives Spill Maps, in Vale of Paraíba. The area is situated in the east São Paulo state and is characterized for contrast of the Sedimentary Hills of Basin Tubaté and Crystalline Mounts of Serra do Mar and Mantiqueira; different litologis (gnaiss, shales, granites, sandstone, claystone, siltstone, etc.), the presence of the Paraíba of Sul river, the Santa Branca dam, environmental protection areas and the “Guararema-São José dos Campos” pipe-line. Accidents with pipe-line happened yet (1987, 1994 and 1998) and can occur again, minimizing the environment quality. Hence, a geotechnical cartography methodology has been adopted - Basic Compartment Units (BCU's) – the following cartography document, on a 1: 50,000 scale, was made: a Geological-Geotechnical Units map, with seven units (one in Fluvial Plan and two in Sedimentary Hills and four in Crystalline Mounts) accompanied by a syntesis table of the physical environment conditioners. These results allows us to affirm that the geological-geotechnical maps can be instruments used in the making of Environmental Sensitivity Maps in inland areas. The physical environment attributes are: type and forms of relief, declivity, type rivers, depth of the water level, tipe of soils and litologis, characteristics of soil/rocks (discontinuities, porosity, permeability, the aquifer's recharge capacity and the potential retention of the contaminant).

KEYWORDS: Geological-Geotechnical Map, Environment Sensitivity, Jacareí, Vale do Paraíba and Oil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas de Trabalho seguidas durante a execução do Projeto.

Figura 2: Procedimentos do método proposto por Vedovello (2000).

Figura 3: Diferentes fases presentes na zona não saturada sem contaminação (a) e zona saturada com presença do contaminante (b) – baseado em Mancini (2002).

Figura 4: Depressão do Nível de água subterrânea resultando grande frente de contaminação e elevação do nível d'água. Modificado de Ferreira et al (1998)

Figura 5: Localização da área de estudos.

Figura 6: Mapa geológico da Bacia de Taubaté. Modificado de Riccomini et al (2004).

Figura 7: Contexto geotectônico regional da área estudada. Fonte: Hasui et al (1978).

Figura 8: Relevo regional da área estudada. Imagem SRTM compatível com a escala 1:100.000. Fonte: Miranda (2005). Notar delimitação que separa a zona de colinas sedimentares (coincidente com a Bacia de Taubaté) e a zona de morros cristalinos.

Figura 09: Mapa pedológico simplificado da região do Vale do Paraíba. Destaque para a área de estudos. **Fonte:** modificado de IAC (1999)

Figura 10: Mapa de contorno de isovalores referente a vazões de poços artesianos no sistema cristalino. Fonte: Silva et al (2007)

Figura 11: Cobertura vegetal natural (verde claro) e áreas com vegetação alterada (roxo), da Região Administrativa do Vale do Paraíba. Fonte: Pavão et al (2007).

Figura 12: Vegetação e uso do solo na bacia do rio Paraíba do Sul (porção do estado de São Paulo).

Figura 13: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 1.

Figura 14: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 2.

Figura 15: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 3.

Figura 16: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 4.

Figura 17: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 5.

Figura 18: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 6.

Figura 19: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 7.

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Correlação entre densidade de drenagem com a permeabilidade, tipo de material e escoamento superficial esperados

Quadro 02: Correlação entre permeabilidade com capacidade de recarga e vulnerabilidade do aquífero

Quadro 03: Critérios para o reconhecimento das feições de relevo (LOLLO, 1996)

Quadro 04: Critérios de descrição das unidades de terreno (LOLLO, 1996)

Quadro 05: Relações entre formas de topos e encostas e, propriedades e características do terreno (VEDOVELLO, 2000).

Quadro 6: Níveis de elaboração das cartas de sensibilidade ambiental em regiões costeiras.

Quadro 7: Histórico de iniciativas para a elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental.

Quadro 8: Parâmetros incluídos nas cartas de sensibilidade ambiental para derramamento de óleo em regiões costeiras e marítimas segundo o MMA (2002).

Quadro 9: Parâmetros incluídos nos mapas de sensibilidade ambiental para dutos terrestres segundo Oliveira et al (2003).

Quadro 10: Composição do Petróleo Bruto

Quadro 11: Perfil de intemperismo para regiões tropicais. Fonte: Gomes da Silva (2006)

Quadro 12: Distribuição das classes de vegetação e uso de solo na Bacia do Paraíba do Sul (Porção do estado de São Paulo). Fonte: ANA (2008)

Quadro 13: Unidades de Conservação da Bacia do Paraíba do Sul, no trecho paulista (ANA, 2008).

LISTA DE FOTOS

- Foto 01:** Cicatriz de escorregamento, com direção NW-SE, próximo a São José dos Campos.
- Foto 02:** Feições erosivas na BR-116, próximo a São José dos Campos.
- Foto 03:** Detalhe do material presente na Unidade 1
- Foto 4:** Visão geral do relevo da UBC 2.
- Foto 5:** Arenito maciço, com níveis conglomeráticos.
- Foto 6:** Arenito com níveis conglomeráticos. Notar feições erosivas.
- Foto 07:** Detalhe do fundo de uma erosão na área da foto anterior. Observar a exposição de gnaiss do embasamento.
- Foto 08:** Visão geral do relevo da Unidade 3 (colinas sedimentares).
- Foto 09:** Material argiloso presente na Unidade 3. Notar presença de feições erosivas.
- Foto 10:** Saprolito de Gnaiss, presente na Unidade 4.
- Foto 11:** Cicatriz de escorregamento presente na UBC 4.
- Foto 12:** Amostra de xisto presente na UBC 5.
- Foto 13:** Saprolito de xisto (porção avermelhada) e possivelmente solo residual de rochas calciossilicáticas (porção amarelada) presente na Unidade 5.
- Foto 14:** Represa de Santa Branca. Ao Fundo, relevo que circunda a Represa, representado por Morros Cristalinos.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Carta Geológico-Geotécnica da região do oleoduto “Guararema - São José dos Campos” – Vale do Paraíba (SP).

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA - Agência Nacional das Águas

APA – Área de Proteção Ambiental

ARIE – Áreas de Relevante Interesse

ASPE – Área Sob Proteção Especial

Cartas SAO – Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental

SIG – Sistema de informação Geográfica

IAC – Instituto Agronômico de Campinas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

MMA – Ministério do Meio Ambiente

NA – Nível d'água

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

RCSB – Rift Continental do Sudeste Brasileiro

SMA – Secretaria do Meio Ambiente

UBC – Unidade Básica de Compartimentação

UC – Unidade (s) de Conservação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	016
2. OBJETIVOS	019
3. MÉTODO E ETAPAS DE TRABALHO	020
3.1. Etapas de Trabalho	020
3.3.1. Pesquisa Bibliográfica	021
3.1.2. Preparação de Base Cartográfica	022
3.1.3. Compartimentação do Terreno e Caracterização Geológico-Geotécnica	022
3.1.3.1. <i>Compartimentação Fisiográfica</i>	023
3.1.3.2. <i>Caracterização Geológico-Geotécnica</i>	025
3.1.3.3. <i>Carta Geológico-Geotécnica Preliminar</i>	027
3.1.4. Trabalho de Campo	027
3.1.5. Definição dos Condicionantes do Meio Físico	028
3.1.6. Análise e Avaliação das Unidades Básicas de Compartimentação	028
3.1.7. Elaboração da Carta Geológico-Geotécnica	029
3.1.8. Redação da Dissertação	029
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	030
4.1. Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo (Cartas SAO)	030
4.1.1. Histórico	031
4.1.2. Conceitos e Definições	033
4.1.3. Métodos Utilizados no Brasil	033
4.1.3.1. <i>Mapas de Sensibilidade Ambiental para Área Costeiras e Marítimas – Método do Ministério do Meio Ambiente (2002)</i>	033
4.1.3.2. <i>Mapas de Sensibilidade Ambiental para Faixas de Dutos Terrestres – Método Proposto por Oliveira et al (2003)</i>	035
4.2. Cartas e/ou Mapas Geológico-Geotécnicos	036
4.2.1. Evolução no Brasil	036

4.2.2. Conceitos e Definições	037
4.2.3. Método da Utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) para a Definição de Unidades Geotécnicas	039
4.3. Características do Contaminante (Petróleo e Derivados)	041
4.3.1. Propriedades dos Hidrocarbonetos	042
4.3.2 Intemperismo do Óleo	043
4.3.3. Aspectos Toxicológicos	044
4.3.4. Formas de Transporte do Produto	044
5. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDOS	049
5.1. Localização	049
5.2. Clima	051
5.3. Geologia Regional	051
5.3.1. Embasamento Cristalino	051
5.3.2. Rochas Granitóides	052
5.3.3. Bacia de Taubaté	053
5.4. Geologia Estrutural	055
5.5. Geomorfologia Regional	057
5.5.1. Morros Cristalinos	058
5.5.2. Colinas Sedimentares	059
5.5.3. Planícies Fluviais	059
5.6. Solos	060
5.7. Recursos Hídricos	063
5.7.1. Hidrografia	063
5.7.2. Hidrogeologia	063
5.8. Cobertura Vegetal e Uso do Solo	064
5.9. Processos e Comportamentos do Meio Físico	068
5.9.1. Rastejo	068
5.9.2. Escorregamento	069
5.9.3. Erosão pela Água	069
5.9.4. Assoreamento	071
5.9.5. Inundação	071

6. CONDICIONANTES DO MEIO FÍSICO DE INTERESSE ÀS CARTAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL PARA ÁREAS TERRESTRES	072
7. COMPARTIMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DA ÁREA DE ESTUDOS	074
7.1. Unidades Geológico-Geotécnicas	075
7.1.1 - Unidades em Planícies Fluviais	075
7.1.1.1 Unidade 1 – Planícies Fluviais	075
7.1.2 - Unidades em Colinas Sedimentares	077
7.1.2.1 Unidade 2 – Arenitos Maciços em Colinas Sedimentares	077
7.1.2.2 Unidade 3 – Siltitos e Arenitos Finos em Colinas Sedimentares	080
7.1.3 - Unidades em Morros Cristalinos	083
7.1.3.1 Unidade 4 – Gnaisses dos Morros Cristalinos	083
7.1.3.2 Unidade 5 – Xistos dos Morros Cristalinos	085
7.1.3.3 Unidade 6 – Gnaisses “2” dos Morros Cristalinos	087
7.1.3.4 Unidade 7 – Gnaisses Finos dos Morros Cristalinos	089
8. CONCLUSÕES	091
9. REFERÊNCIAS	094

1. INTRODUÇÃO

Os derramamentos de óleo são eventos que oferecem riscos ao meio ambiente e à segurança humana. De acordo com Poffo *et al.* (2001) o petróleo é considerado perigoso e no caso de sua liberação, há possibilidades de danos materiais e humanos, enfermidades ou até mortes, resultante da exposição de pessoas, animais ou vegetais.

Em regiões costeiras e marítimas, os derrames de óleo estão relacionados a acidentes envolvendo navios, píer ou terminais e segundo a CETESB (2008a) no período entre 1978 e dezembro de 2008 registrou-se 360 acidentes na costa do estado de São Paulo.

Segundo Castro *et al.* (2005) os impactos referentes aos derrames de óleo comprometem não só a integridade da paisagem natural, como também as atividades econômicas, os investimentos realizados pela sociedade e o sustento das comunidades locais.

Diante desta realidade o Ministério do Meio Ambiente (MMA), em 2002, desenvolveu especificações e normas técnicas para a elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo (Cartas SAO) em regiões costeiras e marítimas. Tais especificações e normas técnicas foram elaboradas com base no método de mapeamento da vulnerabilidade ambiental para vazamentos em áreas marítimas, proposto pelo NOAA em 1997, o qual é aceito internacionalmente.

Para o MMA (2002) as Cartas SAO constituem um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo e representam um instrumento fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, na medida em que, ao identificar aqueles ambientes com prioridade de proteção (ambientes mais sensíveis), permitem o direcionamento dos

recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza. Estas cartas podem ser usadas por governos, portos terminais e empresas de petróleo.

Os principais objetivos da resposta a derramamentos de óleo são: proteger a vida humana; reduzir as consequências ambientais do vazamento e; tornar eficientes os esforços de contenção e remoção do óleo (MMA, 2002).

Nas regiões continentais, um dos maiores problemas envolvendo derrames de óleo estão associados à dutovias. De acordo com a CETESB (2008a), no período entre 1980 e dezembro de 2008 registrou-se 198 acidentes, no estado de São Paulo, envolvendo este meio de transporte; sendo que 70,7% ocorreram na região metropolitana, 17,2% no litoral e 12,1% no interior do estado.

Os acidentes relacionados a dutos constituem uma fonte potencial de contaminação dos componentes do meio físico (solo, rocha e água). Este fato está intimamente relacionado com a peculiaridade que os dutos apresentam quanto ao aspecto longitudinal, interceptando diferentes relevos e formações geológicas, com os tipos de solos e condições hidrogeológicas e fenomenológicas a elas associados. Podem, ainda, atravessar várias cidades, propriedades rurais, estradas, diversas bacias hidrográficas e extensas áreas de recarga.

Diferentemente das regiões costeiras e marítimas, não há uma metodologia padrão para a elaboração de Cartas SAO em áreas continentais, apesar da PETROBRÁS e da CETESB já possuírem um método próprio de mapeamento de sensibilidade ambiental em áreas terrestres.

Elaborar uma metodologia padrão para as cartas SAO em regiões continentais não é tarefa fácil devido à complexidade do meio terrestre, contudo é importante, pois da mesma forma que em regiões costeiras e marítimas, tais cartas podem auxiliar em análises e avaliações ambientais, definição de áreas sensíveis, planos de contingência e operações de combate. Além de poderem apresentar uma ferramenta a mais que é o gerenciamento de riscos, prevenindo os acidentes, principalmente quando se analisam os processos do meio físico, os quais podem atingir os dutos e desencadear vazamentos.

A área de estudo localiza-se no Vale do Paraíba (leste do estado de São Paulo), seguindo o traçado do oleoduto que parte do Terminal de Guararema até a Refinaria Henrique Lage (REVAP), em São José dos Campos (S.P.), mais especificamente na Folha Jacareí. A região contém rochas cristalinas das serras do Mar e da Mantiqueira e sedimentares da Bacia de Taubaté; é abastecida pelo rio Paraíba do Sul, possui Áreas de Proteção Ambiental – APAs. Já foi alvo de acidentes relacionados com dutovias, como é o caso de Guararema em 1987 e em São José dos Campos em 1994 e 1998 (CETESB, 2008a).

Acidentes envolvendo dutos nesta região ainda podem ocorrer e conseqüentemente provocar danos ao meio ambiente. Desta forma, uma carta de sensibilidade ambiental nesta área poderia auxiliar em análises e avaliações ambientais, planos de contingência, em casos de emergência, e gerenciamento de riscos prevenindo acidentes. Diante desta probabilidade está a importância do estudo geológico-geotécnico, para subsidiar a elaboração de cartas SAO, pois estas cartas reúnem informações do meio físico, que podem ser obtidas através das cartas geológico-geotécnicas, além de características bióticas, que podem ser obtidas em observações de campo, complementadas por informações pré-existentes de levantamento de espécies.

2. OBJETIVOS

O principal objetivo do trabalho foi elaborar um mapa geológico-geotécnico na região do oleoduto que parte do Terminal de Guararema até a Refinaria de Henrique Laje (REVAP), com o intuito de subsidiar a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental, a derrames de petróleo e derivados, no Vale do Paraíba (SP).

Para atingir tal proposta, a pesquisa contou com o seguinte objetivo complementar:

- Avaliar se as informações das cartas geológico-geotécnicas podem ser as mesmas utilizadas na elaboração das cartas de sensibilidade ambiental e;
- Definir quais condicionantes do meio físico (presentes em cartas geológico-geotécnicas) podem contribuir na elaboração das cartas de sensibilidade ambiental na área de estudos.

3. MÉTODO E ETAPAS DE TRABALHO

Pesquisa é o procedimento racional e sistemático que tem por objetivo, proporcionar respostas aos problemas que são propostos, a qual é desenvolvida mediante o concurso dos conhecimentos disponíveis e a utilização de métodos, técnicas e outros procedimentos científicos (GIL, 1989).

Assim, o presente trabalho visou a interpretação de produtos de sensoriamento remoto (imagem de satélite e imagem de radar), no sentido de avaliar os diversos elementos de relevo e drenagem que permitiram a compartimentação fisiográfica da área em Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) e posteriormente a caracterização geológico-geotécnica.

Para a compartimentação do terreno e de sua caracterização, utilizaram-se os procedimentos propostos por Vedovello (2000), o qual consistem na elaboração de carta geotécnica, com base na interpretação de produtos de sensoriamento remoto e na utilização de princípios de Análise de Terreno. O procedimento compreende três etapas: compartimentação fisiográfica, caracterização geotécnica e cartografia temática final.

3.1. Etapas de Trabalho

O êxito de uma pesquisa depende fundamentalmente da organização e do método aplicado. De acordo com Rudio (1989), o método serve de guia para o estudo sistemático do enunciado, compreensão e busca de solução do referido problema.

Desta forma, foram oito as etapas de trabalho necessárias para o desenvolvimento deste trabalho, as quais estão expostas no fluxograma da **Figura 1** e descritas em seguida.

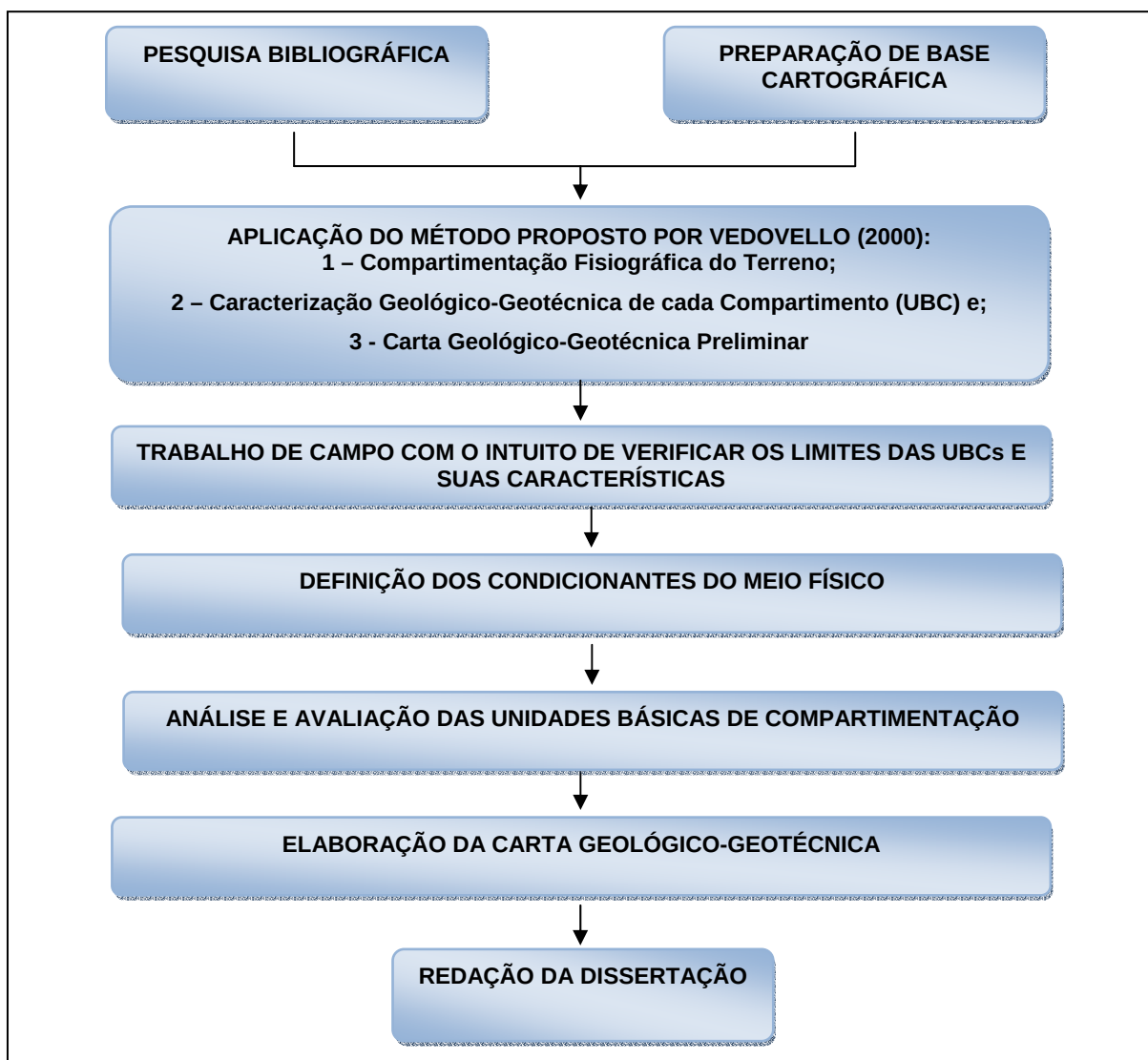


Figura 1: Etapas de Trabalho executadas durante a realização do Projeto.

3.3.1. Pesquisa Bibliográfica

A reunião dos dados e informações necessárias à execução do projeto foi realizada junto às bibliotecas do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista – Unesp – Campus de Rio Claro; do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo – USP – Campus de São Paulo, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT e Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE e, também, em base de dados (Probe, Scielo, etc.) e sites de busca na Internet (Google e scholar.google) com o intuito de enriquecer a pesquisa.

Justifica-se a escolha destes Institutos por desenvolverem importantes estudos no Vale do Paraíba. Não foi possível obter informações junto a Petrobrás, já que esta também

desenvolve trabalhos na área estudada, provavelmente por se tratarem de dados estratégicos desta empresa.

Os temas utilizados na pesquisa bibliográfica referem-se aos aspectos do meio físico da área de estudos (geologia, geomorfologia, solos, recursos hídricos, clima, vegetação, processos do meio físico, etc), vulnerabilidade e sensibilidade ambiental (histórico, conceito e métodos para áreas terrestres e costeiras), cartografia geológico-geotécnica (histórico, conceitos e métodos), acidentes ambientais envolvendo dutovias no estado de São Paulo e principalmente na área estudada e informações sobre o produto transportado (petróleo).

Além da revisão bibliográfica, esta etapa também serviu para a aquisição do material cartográfico e dos produtos de sensoriamento remoto.

3.1.2. Preparação de Base Cartográfica

Esta etapa consistiu na preparação da base cartográfica, a qual foi vetorizada em ambiente GIS, utilizando o software ArcGis, versão 9.2.

Como o próprio nome já informa, a base cartográfica foi a base de todo o trabalho, onde foram inseridas todas as informações obtidas durante a execução do trabalho, resultando na geológico-geotécnica.

Utilizou-se a seguinte Folha Topográfica 1:50.000 do IBGE (1974):

- Jacareí (SF-23-Y-D-II-3).

3.1.3. Compartimentação do Terreno e Caracterização Geológico-Geotécnica

Esta Etapa consistiu na aplicação do método proposto por Vedovello (2000), consistindo em três procedimentos: compartimentação fisiográfica do terreno, caracterização geológico-geotécnica de cada compartimento (denominados de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs) e elaboração de carta geológico-geotécnica preliminar.

A compartimentação do terreno e a caracterização de cada unidade foram realizadas através de produtos de sensoriamento remoto, baseando-se no princípio da análise de terreno.

Através da compartimentação fisiográfica dividiu-se a área selecionada em unidades que apresentaram “homogeneidade” quanto às características dos elementos de relevo e, conseqüentemente, as características geotécnicas.

Cada unidade obtida foi caracterizada segundo propriedades e características dos materiais (solos, rochas, sedimentos) e das formas (tipos de relevo e processos morfogenéticos) do meio físico, seguindo a lógica e sistemática de análise e interpretação para produtos de sensoriamento remoto de Soares et al (1976).

As informações obtidas nesta etapa foram sintetizadas em uma carta preliminar, contendo as Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) e um quadro com suas características.

Com relação aos produtos de sensoriamento remoto, utilizaram-se os seguintes:

- Imagem GeoCover Landsat TM (2000), resultante da fusão da banda 8 com as bandas 7, 4 e 2 (RGB), proporcionando resolução espacial de 14,25m. O mosaico GeoCover Landsat apresenta-se em coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) e projeção WGS84 (World Geodetic System 1984);
- Imagens SRTM (MIRANDA, 2005): articulações compatíveis com a escala 1:100.000 e 1:50.000.

3.1.3.1. Compartimentação Fisiográfica do Terreno

A Compartimentação Fisiográfica se baseia na possibilidade de reconhecimento dos padrões de textura presentes em uma imagem ou fotografia aérea e de suas associações espaciais, e seu posterior zoneamento.

O princípio utilizado para a compartimentação fisiográfica de terrenos baseia-se em: os elementos fisiográficos interagem de maneira diferente de área para área em função de variações nos fatores (clima, tectônica, etc.) que regem a sua evolução. Isso faz com que esses elementos apresentem-se sob formas particulares em cada região, determinando diferentes cenários. Estes cenários específicos refletem na imagem de satélite texturas também específicas e que são resultado da organização espacial dos diferentes tipos de elementos texturais. Assim, a identificação de diferentes zonas homogêneas na imagem, corresponde a identificação de diferentes áreas do meio físico, onde ocorre uma associação determinada dos elementos componentes desse meio (VEDOVELLO, 2000).

Os elementos texturais foram definidos por Soares et al (1976), como a menor superfície contínua e homogênea, distinguível na imagem e passível de repetição. A maneira de arranjo desses elementos texturais é denominada de textura. Já como estrutura, consideram como a organização espacial ordenada dos elementos texturais. Assim, um alinhamento (disposição alinhada de elementos texturais) constitui uma estrutura na imagem.

O processo de compartimentação se inicia com a identificação de zonas homogêneas presentes na imagem de satélite e/ou fotografia aérea, a partir das diferenças de homogeneidade, tropia e de assimetria dos elementos texturais (drenagens e relevo) e de suas estruturas na imagem. Cada zona homogênea é definida como Unidade Básica de Compartimentação (UBC).

A análise de um elemento textural, ou seja, de seu arranjo pode fornecer informações importantes informações quanto a estrutura geológica, fácies litológicas, etc. O arranjo do elemento textural é feito com referência a um determinado padrão. Assim, para a análise de formas texturais associadas a elementos de drenagem podem ser identificados padrões dendríticos, paralelos, treliça, etc.

Com relação a cada padrão de drenagem, analisam-se algumas propriedades, que permitem a caracterização das zonas homogêneas. Estas propriedades são:

- Densidade de textura de drenagem;
- Sinuosidade das drenagens;
- Angularidade: ângulo de confluência dos elementos de drenagem;
- Tropa: direção preferencial;
- Assimetria e;
- Formas anômalas

Para a análise das formas de relevo, os elementos fundamentais são as rupturas de declive, as quais definem os elementos texturais do relevo. Da mesma forma que a rede de drenagem, o relevo também apresentam propriedades de textura para a caracterização das zonas homogêneas. Estas propriedades são:

- Densidade de textura de relevo;
- Quebra positiva;
- Quebra negativa;
- Assimetria do relevo;
- Lineações do relevo;
- Alinhamento de relevo e;
- Forma das encostas.

Uma vez estabelecida a compartimentação inicial da área estudada, verificou-se a homogeneidade e a similaridade das unidades de compartimentação. São consideradas homogêneas as áreas em que as características dos elementos texturais na imagem apresentem-se constantes em toda a área da unidade. Caso haja a ocorrência de heterogeneidades internas nas unidades de compartimentação iniciais, estas devem ser subdivididas. A subdivisão deve refletir condições diferenciadas nas unidades, como por

exemplo, espessuras de materiais inconsolidados ou variações laterais no perfil destes materiais.

3.1.3.2. Caracterização Geológico-Geotécnica de cada Compartimento (UBC)

A caracterização geotécnica pode ser considerada como o conjunto de procedimentos realizados para a obtenção de propriedades e características geotécnicas sobre as unidades de compartimentação.

A obtenção de dados geotécnicos a partir de dados de sensoriamento remoto é feita a partir da correlação entre as propriedades texturais e espectrais da imagem e propriedades e/ou características do meio físico de interesse geotécnico. De acordo com Vedovello (2000), o princípio considerado para a correlação é o de que a textura na imagem reflete as características e propriedades dos materiais que são imageados, ou seja, há um relacionamento entre as propriedades texturais da imagem e as propriedades e características do alvo, o que permite que sejam feitas inferências a partir da análise da imagem sobre o alvo investigado.

Como exemplo pode-se mostrar a relação entre permeabilidade e elementos texturais de drenagem, ou seja, uma região com mesmo índice pluviométrico, a permeabilidade é inversamente proporcional à densidade de elementos texturais; quanto maior a densidade de drenagem, menor a permeabilidade do material.

A identificação das formas de topos e encostas permite a inferência de propriedades como: grau de alterabilidade, tipo de material do perfil de alteração e espessura deste perfil. As estruturas geológicas podem determinar as zonas de fraqueza do terreno, o que se pode inferir e/ou identificar processos erosivos e de movimento de massa.

O grau de alterabilidade é definido com relação à resistência a erosão do material, ou seja, os maciços rochosos com maior grau de alterabilidade apresentarão maior grau de erodibilidade (pouco resistentes).

Desta forma, as características de cada Unidade Básica de Compartimentação, foi inferida de acordo com as observações texturais da imagem e sua correlação com a sistemática apresentada por Soares et al (1976), Lollo (1996) e Vedovello (2000). As correlações são apresentadas nos **quadros de 01 a 05**. Salienta-se que para algumas informações geomorfológicas (Província, Zona e Sub-Zona) e geológicas (tipos litológicos) foram preliminarmente obtidas a partir da bibliografia.

Quadro 01: Correlação entre densidade de drenagem com a permeabilidade, tipo de material e escoamento superficial esperados

		Permeabilidade e/ou Taxa de infiltração			Tipo de Material					Escoamento Superficial		
		Alta	Média	Baixa	Arenoso	Areno-argiloso	Argilo-arenoso	Argiloso		Alto	Médio	Baixo
Densidade de drenagem	Alta			X				X		X		
	Média		X			X	X				X	
	Baixa	X			X							X

Quadro 02: Correlação entre permeabilidade com capacidade de recarga e vulnerabilidade do aquífero

		Capacidade de recarga do Aquífero			Vulnerabilidade de Contaminação do Aquífero		
		Alta	Média	Baixa	Alto	Médio	Baixo
Permeabilidade e/ou taxa de Infiltração	Alta	X			X		
	Média		X			X	
	Baixa			X			X

Quadro 03: Critérios para o reconhecimento das feições de relevo (LOLLO, 1996)

FEIÇÃO	CRITÉRIOS DE RECONHECIMENTO
Escarpa	Altas declividades (>20%), amplitude de relevo maior que 100m
Colina	Vertentes convexas ou côncavas, topos ondulados a aplainados, declividade moderadas a baixas (<10% na maioria dos casos), amplitude de relevo menor que 100m.
Vale	Vertentes convexas ou côncavas, declividades variadas (desde muito baixas até altas), amplitude de relevo variada.
Morrote	Vertentes predominantemente convexas, topos arredondados a angulosos, declividades moderadas a alta (>10%), amplitude de relevo menor que 100m.
Morro	Vertentes convexas a retilíneas, topos ondulados a pontiagudos, declividades altas (>20%), amplitude de relevo maior que 100m.

Quadro 04: Critérios de descrição das unidades de terreno (LOLLO, 1996)

FORMAS			DESCRIÇÃO
Forma do topo (morrote e morro)	Arredondado	<20%	Declividade do topo
	Anguloso	>20%	
Forma do Vale	Aberto	>10%	Declividade das vertentes
	Fechado	<10%	
Forma da Encosta	Convexa		
	Côncava		
	Retilínea		

Quadro 05: Relações entre formas de topos e encostas e, propriedades e características do terreno (VEDOVELLO, 2000).

	TIPOS DE TOPOS E ENCOSTAS			
	CONVEXA	CONVEXA-CONCAVA	CONCAVA-CONVEXA	RETILÍNEA
GRAU DE ALTERABILIDADE	Muito alta	alta	média	Baixa
MATERIAL DE ALTERAÇÃO	Argiloso, coesivo, plástico	Arenoso semi coesivo, ligeiramente plástico	Areno-argiloso não coesivo, não plástico	Arenoso (siltoso), coesivo, não plástico
ESPESSURA DO MANTO DE ALTERAÇÃO	Muito espesso	Moderadamente espesso	Pouco espesso	Delgado

3.1.3.3. Carta Geológico-Geotécnica Preliminar

Após a realização dos procedimentos anteriormente descritos (3.1.3.2 e 3.1.3.3), partiu-se para a apresentação dos resultados preliminares; o qual foi apresentado em forma de carta acompanhado de um quadro síntese com as características de cada unidade básica de compartimentação.

Para a elaboração da carta preliminar, transferiram-se os limites de cada unidade obtida para a base cartográfica; seguido pelo tratamento e edição da carta e; apresentação e impressão da carta.

3.1.4. Trabalho de Campo

O objetivo desta etapa de trabalho foi a verificação dos resultados obtidos na etapa anterior (3.1.3), com o intuito de proporcionar maior precisão ao zoneamento estabelecido (limites entre cada Unidade Básica de Compartimentação e de suas características) e possibilitar as atividades de generalização.

Vale ressaltar que o zoneamento obtido na etapa anterior (3.1.3) não é definitivo, havendo locais onde este zoneamento é considerado confiável pelo interprete e locais duvidosos quanto ao limite das formas identificadas. O trabalho de campo permite confirmar estes limites considerados confáveis e sanar as dúvidas dos locais duvidosos.

O trabalho de campo realizou-se por meio da observação de pontos distribuídos por toda a área. Em cada ponto, observaram-se os seguintes aspectos: contato entre as UBCs, tipo de rocha e de solo, presença de descontinuidades, feições do relevo, presença de processos do meio físico, intervenções antrópicas, situação dos dutos, etc.

Os trabalhos foram desenvolvidos com a definição das informações a serem coletadas, através da elaboração de uma ficha de campo, preparada com base em bibliografias referentes à cartografia geológico-geotécnica.

Alguns aspectos presentes na ficha de campo, como, por exemplo, profundidade do nível d'água, embora não pudessem ser observados, foram incorporadas, pois se acredita que devam ser levados em consideração na elaboração da Carta de Sensibilidade Ambiental.

3.1.5. Definição dos Condicionantes do Meio Físico

Nesta etapa definiram-se os condicionantes do meio físico que foram representados na carta geológico-geotécnica e que podem contribuir na elaboração de cartas de sensibilidade ambiental na área estudada.

A execução desta etapa não foi tarefa fácil, pois não há uma metodologia definida para a elaboração das cartas SAO em áreas terrestres; da mesma forma que há para as cartas SAO em áreas costeiras e marítima. Contudo esta etapa é indispensável, pois nem todas as informações que uma carta geológico-geotécnica pode conter, são necessárias para a elaboração das cartas de sensibilidade ambiental.

Os condicionantes do meio físico apresentados no mapa geológico-geotécnico foram definidos baseando-se no método proposto por Oliveira et al (2003), além de comparações e deduções, baseadas na cartografia geológico-geotécnica.

3.1.6. Análise e Avaliação das Unidades Básicas de Compartimentação

A partir das etapas de trabalho de campo e da definição dos condicionantes do meio físico realizou-se uma análise e avaliação das unidades básicas de compartimentação.

As características de cada Unidade Básica de Compartimentação (geomorfológica, geológica, etc.) foram analisadas, gerando-se uma avaliação de cada compartimento em termos de permeabilidade/infiltração, capacidade de recarga do aquífero e vulnerabilidade do

aquífero frente a contaminação por qualquer substância, seja ela, petróleo, derivados ou outras.

3.1.7. Elaboração da Carta Geológico-Geotécnica

A partir das informações obtidas da compartimentação do relevo, da caracterização das UBC's e do trabalho de campo, juntamente com os condicionantes do meio físico definidos, elaborou-se uma carta geológico-geotécnica de escala regional (1:50.000), com o intuito de subsidiar uma carta de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo, no trecho de Guararema - São José dos Campos – Vale do Paraíba.

Todas as informações foram registradas e tratadas em ambiente GIS (software ArcGis 9.2) e apresentados em forma de carta.

3.1.8. Redação da Dissertação

Como última etapa, elaborou-se o relatório final do trabalho (dissertação), o qual reuniu todas as informações e produtos obtidos, incluindo a revisão bibliográfica.

O relatório foi dividido em tópicos, abordando todas as etapas de trabalho.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é dividido em três partes: Cartas de Sensibilidade Ambiental, Cartas Geológico-Geotécnicas e Características do Contaminante (Petróleo).

4.1. Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo (Cartas SAO)

As cartas de sensibilidade ambiental constituem um componente essencial e fonte de informação primária para o planejamento de contingência e avaliação de danos em casos de derramamento de óleo e representam um instrumento fundamental para o balizamento das ações de resposta a vazamentos de óleo, na medida em que, ao identificar aqueles ambientes com prioridade de proteção (ambientes mais sensíveis), permitem o direcionamento dos recursos disponíveis e a mobilização mais eficiente das equipes de proteção e limpeza (MMA, 2002).

Os principais objetivos da resposta a derramamentos de óleo são: proteger a vida humana; reduzir as consequências ambientais do vazamento e tornar eficientes os esforços de contenção e remoção do óleo. Desta forma, as cartas SAO são utilizadas como ferramenta principalmente nas seguintes situações (MMA, 2002):

- Planos de contingência: no planejamento de prioridades de proteção, estratégias de contenção/limpeza e quantificação dos recursos necessários no combate a derramamentos;
- Operações de combate a derramamentos de óleo: possibilitando a avaliação geral de danos e facilitando a identificação dos locais sensíveis, rotas de acesso, áreas de sacrifício e quantificação e localização de equipamentos de resposta;

- Planejamento ambiental: na avaliação de recursos que possam estar em perigo, podendo ser um componente valioso de um estudo de impacto ambiental, auxiliando na definição de locais de instalação de empreendimentos para a indústria de petróleo. De modo mais específico, reforça os instrumentos políticos e administrativos de ordenamento territorial

As Cartas SAO incluem três tipos de informações principais: meio físico, meio biótico e meio socioeconômico e devem atender a todos os níveis de derramamentos de óleo, desde grandes até localizados, para isto foram definidos três níveis de elaboração das cartas de sensibilidade ambiental (MMA, 2002), os quais podem ser observados no **Quadro 1**.

Quadro 6: Níveis de elaboração das cartas de sensibilidade ambiental em regiões costeiras.

NÍVEL	ESCALA
Cartas estratégicas (abrangência regional – bacia marítima)	1:1.000.000 representando uma área que englobe todas as trajetórias que a mancha de óleo pode seguir.
Cartas táticas (escala intermediária – todo o litoral da bacia)	1:100.000
Cartas operacionais / de detalhe (locais de alto risco – sensibilidade)	Muito grande (até 1:10.000) para representar a área com grau de detalhe requerido

4.1.1. Histórico

Os derrames de óleo são eventos perigosos e constituem uma fonte potencial de contaminação do meio ambiente, afetando uma série de atividades e usos muitas vezes conflitantes e significativos para a tomada de decisão sobre prioridade e proteção.

De acordo com Oliveira *et al* (2003) a caracterização de áreas sujeitas a vazamentos de petróleo, de acordo com a sua vulnerabilidade e sensibilidade, iniciou-se a partir da década de 70, em vista do grande desastre do Golfo do México. A partir daí, surgiram diversas iniciativas de elaboração de mapas para dar suporte aos planos de contingência (**Quadro 7**).

Quadro 7: Histórico de iniciativas para a elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental.

ANO	DESCRIÇÃO	FONTE
1976	<u>Hayes et al</u> : criaram o índice de suscetibilidade a derrames de óleo para o Alaska.	Araújo <i>et al</i> (2002)
1978	<u>Gundlach e Hayes</u> : propuseram a classificação da vulnerabilidade em 10 tipos geomorfológicos de costa, baseando-se na relação entre as características biológicas do litoral e os aspectos geomorfológicos.	Oliveira <i>et al</i> (2003)
1986	<u>Tsouk e Almir</u> : propuseram o método de classificação das praias de Israel segundo a capacidade de auto-limpeza aos derrames de óleo.	Wieczorek (2006)
1989	Início da elaboração de mapas de sensibilidade com as seguintes informações espaciais: classificação da sensibilidade dos ambientes segundo os índices de sensibilidade na escala de 1 a 10; recursos biológicos sensíveis ao óleo e os recursos de uso humano de valor comercial, recreacional ou de subsistência.	Jensen et al (1998) <i>apud</i> Wieczorek (2006)
1989	<u>Bernem et al</u> : apresentaram metodologia para o litoral da Alemanha (Mar do Norte), com enfoque na sensibilidade ecológica, usando inter-relação entre aspectos bióticos e abióticos.	Araújo <i>et al</i> (2002)
1992	<u>Petrobras (Cenpes)</u> : lançou mapas de Sensibilidade Ambiental para a Bacia de Campos.	Oliveira <i>et al</i> (2003)
1994	<u>API e NOAA</u> : propuseram método com técnicas para minimizar o impacto negativo causado por hidrocarbonetos em ambientes continentais e, também, índice de sensibilidade de habitats continentais (fronteira dos EUA e Canadá).	API e NOAA (1994)
1996	<u>IMO e IPIECA</u> : propuseram método para a elaboração de cartas com informações essenciais a resposta ao derramamento de óleo para ambientes continentais com indicação de áreas sensíveis.	IMO e IPIECA (1996)
1997	<u>NOAA</u> : publicou índice de Sensibilidade Ambiental e símbolos que representam os recursos biológicos e sócio-econômicos.	Oliveira <i>et al</i> (2003)
1998	<u>Abdel-Kadert et al</u> : propuseram a classificação de sensibilidade do litoral para o Parque Nacional do Egito utilizando técnicas de SIG	Wieczorek (2006)
1998	<u>Petrobrás</u> : lançou mapas de Sensibilidade Ambiental para as áreas de Tramandaí (RS), São Francisco do Sul (SC) e Paranaguá (PR).	Oliveira <i>et al</i> (2003)
1998	<u>Petrobrás (Cenpes)</u> : editaram o “Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental para Derrames de Óleo no Sistema Petrobras: Ambientes Costeiros e Estuarinos”.	Oliveira <i>et al</i> (2003)
1999	<u>Nansingh e Jurawan</u> : propuseram o índice de sensibilidade para o litoral de Trinidad, baseando-se nas características físicas dos ambientes e numa classificação quantitativa da diversidade biológica.	Wieczorek (2006)
2000	<u>Moe et al</u> : elaboraram a metodologia de análise de sensibilidade baseada na avaliação a longo prazo dos impactos de óleo sobre comunidades biológicas.	Wieczorek (2006)
2000	<u>Petrobrás</u> : iniciou a elaboração do método para Cartas de Sensibilidade Ambiental em áreas terrestres.	Oliveira <i>et al</i> (2003)
2001	<u>Petrobrás</u> : iniciou o mapeamento de unidades de Sensibilidade ambiental em faixas de 20 km de largura ao longo dos dutos.	Oliveira <i>et al</i> (2003)
2002	<u>Ministério do Meio Ambiente</u> : divulgou as “Especificações e Normas Técnicas para a elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental ao Derramamento de Óleo”, específicas para ambientes costeiros e marítimos.	MMA (2002)
2003	<u>Petrobrás</u> : apresentou o “Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Petróleo e Derivados no Sistema Petrobrás: Ambientes Terrestres e Fluviais”.	Oliveira <i>et al</i> (2003)

4.1.2. Conceitos e Definições

Os estudos relacionados com o tema sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo vêm aumentando a cada dia, principalmente no que diz respeito ao desenvolvimento de cartas SAO. Vários são os trabalhos publicados neste tema, sendo que a maior parte refere-se a ambientes costeiros e marítimos, contudo são poucos os que envolvem os conceitos e terminologias relacionadas a esta nova área de estudos.

Mediante aos recentes estudos nesta área em nosso país e a necessidade de se entender melhor as terminologias empregadas em trabalhos com este tema, como é o caso de Vulnerabilidade e Sensibilidade Ambiental, faz-se necessário iniciar uma breve discussão sobre os conceitos.

De acordo com Moreira (2001), o termo **sensibilidade** corresponde à propriedade de reação dos sistemas ambientais, alterando ou mantendo o seu estado de qualidade, quando afetados por ação antrópica ou natural. É uma propriedade intrínseca ao meio.

Vulnerabilidade: corresponde a predisposição de um sujeito, sistema ou elemento, que estão expostos a um evento perigoso, em ser afetado ou estar suscetível a sofrer perdas - danos (ZUQUETTE, 1993). Já para Pereira (2002), **vulnerabilidade** é a suscetibilidade de um compartimento, solo ou água, por exemplo, ser adversamente afetado por uma carga contaminante qualquer.

Suscetibilidade: grau de vulnerabilidade apresentado pelos sistemas ambientais diante de ameaças ou agressão a um ou mais de seus componentes (ART, 2001).

4.1.3. Métodos Utilizados no Brasil

4.1.3.1. Mapas de Sensibilidade Ambiental para Áreas Costeiras e Marítimas – Método do Ministério do Meio Ambiente (2002)

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2002), os parâmetros utilizados no mapeamento da sensibilidade ambiental para as áreas costeiras e marítimas são: sensibilidade da costa; recursos biológicos sensíveis, incluindo habitats submersos (recifes de corais, bancos de algas, etc); informações sócio-econômicas e fontes potenciais de poluição por óleo e derivados. O **Quadro 8** mostra os parâmetros incluídos nas cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo em e uma breve descrição.

Quadro 8: Parâmetros incluídos nas cartas de sensibilidade ambiental para derramamento de óleo em regiões costeiras e marítimas segundo o MMA (2002).

Parâmetros	Descrição
Sensibilidade da costa	A costa é classificada de acordo com o índice de sensibilidade do litoral (ISL), o qual varia em uma escala de 1 a 10 , sendo o índice tanto maior quanto maior o grau de sensibilidade. A classificação de sensibilidade é baseada nas características geomorfológicas das áreas do litoral, considerando: grau de exposição à energia de ondas e marés; declividade do litoral; tipo do substrato.
Habitats submersos: recifes de corais, bancos de algas, etc.	A representação dos habitats submersos é essencial já que estes ambientes possuem distintas funções ecológicas, como áreas de criação, reprodução, alimentação, proteção e produção para diferentes organismos aquáticos.
Recursos biológicos sensíveis	Identificar as áreas de maiores concentrações de espécies, as fases ou atividades mais sensíveis do seu ciclo de vida e as espécies protegidas.
Informações sócio-econômicas	Atividades sócio-econômicas que caracterizam a ocupação dos espaços e os usos dos recursos costeiros e marinhos, como o turismo, a pesca, a aquíicultura e o extrativismo costeiro. Também são identificados áreas de proteção ambiental, sítios de mineração e sítios arqueológicos.
Informações para resposta a derramamentos	Devem ser identificadas as estradas secundárias, importantes para as operações de resposta, assim como locais de atracação, rampas para barcos, aeroportos, heliportos / helipontos, depósitos e locais de concentração para equipamentos de contenção, limpeza e transporte.
Fontes potenciais de poluição por óleo e derivados	Apresentar a localização de fontes potenciais de poluição por óleo e derivados, caracterizar o grau de adensamento dos empreendimentos de exploração, exploração, armazenamento, refino e transporte de petróleo. Incluir tanques de óleo e derivados, oleodutos, gasodutos e terminais marítimos, fluviais e lacustres, refinarias, complexos ou portos industriais, outros dutos transportadores de substâncias poluentes, áreas com intenso tráfego de embarcações e suas características, plataformas, outras instalações flutuantes de produção e armazenamento, campos de produção de petróleo e indústria petroquímica.

O procedimento é dividido em cinco etapas:

1 – Levantamento de dados pretéritos sobre ecossistemas e habitats costeiros e marinhos, e sua sensibilidade a derramamentos de óleo; recursos biológicos (com sua concentração, sazonalidade, fases especiais do ciclo de vida, etc.); atividades socioeconômicas; e dados de resposta a derramamentos de óleo;

2 – Coleta de dados (dados de campo sobre ISL, recursos biológicos e atividades socioeconômicas), seguido da digitalização das informações dos pontos de observação (preenchimento de planilhas e desenhos de polígonos de informação);

3 – Preparação da base cartográfica digital;

4 – Preparação da base de dados digital com a inclusão dos dados das planilhas e;

5 – Produção da Carta SAO incluindo textos, legenda, ícones, polígonos e tabelas de dados.

4.1.3.2. Mapas de Sensibilidade Ambiental para Faixas de Dutos Terrestres - Método Proposto por Oliveira et al (2003)

De acordo com Oliveira et al (2003) a classificação da sensibilidade em áreas terrestres é muito mais complexa em relação à áreas costeiras. Enquanto que nas áreas costeiras, de uma forma geral, basta uma classificação com ênfase na geomorfologia da estreita zona das marés, representada, cartograficamente, pelas linhas de costa (região tangenciada por uma suposta mancha de óleo), no caso das áreas terrestres torna-se necessária a identificação de unidades espaciais de sensibilidade, onde é contemplada toda a variedade de combinações tanto do relevo do terreno quanto da natureza dos solos, das rochas e do tipo de ocupação superficial.

Para estes mesmos autores, não existe, como nas linhas de costa, um conjunto de paisagens bem caracterizadas que pode ser associado aos índices de vulnerabilidade ou sensibilidade ambiental. Em vista disto, são três os parâmetros iniciais considerados na identificação das unidades de sensibilidade: trajetória, espalhamento e permanência do contaminante (**Quadro 9**), os quais devem ser analisados sob uma visão particular, de acordo com a área estudada.

O procedimento é dividido em duas etapas:

1 – Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade do meio físico, o qual é obtido através da superposição de mapas de Declividade, Geológico e Pedológico, juntamente com a análise dos condicionantes citados acima (trajetória, espalhamento e permanência).

2 – Elaboração do Mapa de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Petróleo e seus Derivados em áreas terrestres, o qual é obtido através da superposição do Mapa de Vulnerabilidade com o Mapa de Uso do Solo e Cobertura Vegetal. A sensibilidade é dividida em 5 classes: baixíssima, baixa, média, alta e altíssima.

Quadro 9: Parâmetros incluídos nos mapas de sensibilidade ambiental para dutos terrestres segundo Oliveira et al (2003).

Parâmetros	Descrição
Trajectoria	O escoamento do fluido é definido pela declividade e pelo tipo de relevo. O escoamento iniciará pelo do ponto de vazamento, pela linha de máxima declividade da encosta e pelo sulco de drenagem mais próximo, seguindo sempre o sentido dos talwegues em direção à drenagem principal. A complexidade do relevo e da ocupação do solo promoverá igual complicação no trajeto, ampliando a área atingida, retardando o escoamento e complicando os procedimentos de contingência. Na rede de drenagem representada nos mapas é imediata a identificação da trajetória, uma vez reconhecido o primeiro curso d'água atingido.
Espalhamento	Considera-se, também, a penetração do contaminante no substrato, além das variáveis do relevo na expansão superficial da área atingida. Quando é alcançada a drenagem, o espalhamento será o próprio corpo d'água e suas margens alagadiças; entretanto, dependendo do volume do vazamento e este se dando em um local mal drenado (baixa declividade) ou com drenagem seca, haverá espalhamento imediato sobre solo e rochas expostas, causando penetração no substrato.
Permanência	A permanência do contaminante deve ser analisada por dois aspectos: período em que o fluido fica na superfície (maior interação com o meio atingido) e dificuldade de remoção (aumentando o tempo de interação). Nos locais de alta declividade o escoamento é rápido e a penetração é insignificante. Nos locais de baixa declividade o espalhamento superficial e a permanência são maiores, propiciando maior interação com o meio e maior penetração no solo, podendo atingir o sistema de diáclases abertas do substrato rochoso. Solos bem estruturados com horizonte B mais espesso permitem maior penetração. Solos ricos em matéria orgânica têm maior capacidade de absorção, propiciando maior longevidade. A irregularidade do leito dos rios e de suas margens, como depósitos de blocos de rocha, corredeiras e cachoeiras, reentrâncias das margens, etc. criam abrigos para maior retenção dos fluidos, assim como também a ocupação do solo e a sua cobertura vegetal.

4.2. Cartas e/ou Mapas Geológico-Geotécnicos

4.2.1. Evolução no Brasil

A cartografia geotécnica constitui-se em um instrumento desenvolvido no âmbito da Geologia de Engenharia (área aplicada da geologia), aplicado ao planejamento e à gestão ambiental. De acordo com Dinis (1998), este instrumento permite a formulação de modelos de previsibilidade do comportamento dos terrenos e o estudo de soluções para problemas decorrentes da intervenção antrópica sobre o meio físico.

No Brasil, teve seu desenvolvimento inicial a partir dos anos 60, voltado para subsidiar a implantação de grandes obras de engenharia, e objetivava garantir a segurança e a estabilidade das obras. Nesse período a cartografia geotécnica sofreu grande influência da abordagem tecnológica utilizada na Engenharia (VEDOVELLO, 2000).

Na década de 70, houve um primeiro marco de transformação da Geologia de Engenharia e conseqüentemente na Cartografia Geotécnica. Neste período, a consolidação da Geologia de Engenharia favoreceu duas tendências que marcaram os anos seguintes: o resgate da geologia de engenharia como base científica e a diversificação das suas áreas de atuação (DINIS, 1998). Esta diversificação possibilitou à Geologia de Engenharia transcender as obras civis e ser aplicada à mineração e aos problemas de uso e ocupação do solo (VEDOVELLO, 2000).

Segundo Dinis (1998), estas tendências foram acompanhadas por valorização significativa da observação e do conhecimento dos fenômenos geológico-geotécnicos com ênfase naqueles gerados pela ação antrópica, porém sem abandonar os conhecimentos e o acervo tecnológico conquistado durante a fase anterior de consolidação na engenharia.

Paralelamente à diversificação de atuação da Geologia de Engenharia nos anos 70, a preocupação com problemas ambientais começa a ganhar importância em termos mundiais, levando os estudos de impactos ambientais a serem contemplados nas legislações de vários países. De acordo com Vedovello (2000), esse contexto faz com que a partir dos anos 80 os profissionais de Geologia de Engenharia passem a se preocupar não só em subsidiar a viabilização técnica das atividades humanas, mas também em prever, analisar e minimizar impactos sobre o meio ambiente, mais especificamente sobre o meio físico.

Em conseqüência, surgiram as primeiras cartas geotécnicas voltadas para subsidiar a resolução de problemas ambientais. Além da produção, cada vez maior, de cartas geotécnicas destinadas a subsidiar ações de planejamento territorial e urbano.

A partir dos anos 90, a informatização ganha espaço com a disseminação de microcomputadores e do desenvolvimento de programas aplicativos nas diversas áreas. Os programas para a cartografia e SIG acompanharam essa tendência, iniciando-se a automação da cartografia geotécnica, ou seja, a adaptação da cartografia geotécnica analógica ao meio digital.

Para Dinis (1998), a informatização trouxe uma série de vantagens com relação ao processo tradicional, em termos de rapidez, produção de mapas mais específicos e úteis, a possibilidade de análise de problemas e de ser assim um poderoso auxílio na tomada de decisões.

4.2.2. Conceitos e Definições

As cartas e/ou mapas geológico-geotécnicos consistem num instrumento técnico de grande importância para a conciliação entre as atividades humanas e o meio físico que lhe dá

suporte. Segundo Cerri et al (1998) a carta geotécnica é a representação cartográfica das características do meio físico natural de interesse às obras de engenharia como estradas, barragens, túneis, dutos, etc. Englobando a distribuição espacial dos diferentes tipos de solos e rochas, com suas propriedades geológico-geotécnicas, as formas de relevo, a dinâmica dos principais processos atuantes e as eventuais alterações decorrentes das obras e das diferentes formas de uso e ocupação do solo.

De acordo com Prandini et al. (1995) *apud* Comissão Técnica de Cartografia Geotécnica e Geoambiental - CTCG (2004) as cartas geotécnicas expressam, na prática, o conhecimento geológico aplicado ao enfrentamento dos problemas causados pelo uso e ocupação da terra, orientando medidas preventivas e corretivas para minimizar os danos ambientais e os riscos aos próprios empreendimentos.

Dentro da denominação cartografia geotécnica inclui-se vários tipos de cartas e mapas, derivados ou com finalidades específicas, tais como, cartas de suscetibilidade, cartas de risco, cartas de aptidão e cartas de atributos ou parâmetros.

Os documentos cartográficos podem ser utilizados para as mais diversas finalidades: obras civis, planejamento urbano, territorial e ambiental, desenvolvimento, conservação e gestão do meio ambiente, avaliação de eventos perigosos e riscos associados (ZUQUETTE et al, 2004).

A aplicação da cartografia geotécnica em estudos e atividades de gestão ambiental contempla a obtenção de diferentes produtos, os quais são determinados, normalmente, no contexto de cada estudo e em função da percepção dos profissionais ou equipes envolvidas na gestão global de uma dada área, ou mesmo na operação de instrumentos e mecanismos específicos de gerenciamento ambiental (VEDOVELLO, 2000). Para este mesmo autor, os tipos de produtos geotécnicos aplicados na gestão ambiental podem ser diferenciados em dois grupos principais:

- Os produtos voltados à avaliação de áreas naturais, que incluem as cartas geotécnicas que representam as fragilidades e as potencialidades do terreno e;
- Os produtos voltados à avaliação de áreas já ocupadas ou antropizadas, que incluem as cartas que apresentam a situação do terreno quanto a modificações ou conflitos geoambientais.

De acordo com Vedovello (2000) as cartas com enfoque na fragilidade do terreno são expressas em termos de suscetibilidade a processos geodinâmicos (possibilidade de perigo às atividades humanas e à vida, devido ao desencadeamento de processos do meio físico) ou em

termos de vulnerabilidade frente à determinada ação antrópica (possibilidade de modificações das condições geoambientais naturais do meio físico). Já as cartas que enfocam as potencialidades do terreno (cartas de aptidão) apresentam a maior ou menor adequação do meio físico para diferentes tipos de uso e ocupação do solo de uma região (mapa de disposição de resíduos).

Os produtos relativos à avaliação de áreas antropizadas consideram na sua elaboração a obtenção prévia de informações sobre as fragilidades e potencialidades do terreno, dessa forma os produtos com caráter de avaliação de áreas antropizadas normalmente levam em consideração as informações disponíveis nos produtos com caráter de avaliação de áreas naturais.

Na presente pesquisa, enfatiza-se que o produto gerado inclui-se no primeiro grupo de cartas geotécnicas (avaliação de áreas naturais – cartas com caráter de fragilidades e potencialidades do terreno). Tal opção deve-se ao fato de que as informações com esse caráter são freqüentemente as primeiras a serem demandadas pelas equipes de gestores ambientais, além de serem utilizadas para subsidiar a elaboração e/ou análise dos produtos voltados as avaliação de áreas antropizadas (VEDOVELLO, 2000).

4.2.3. Método da Utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) para a Definição de Unidades Geotécnicas

De acordo com Vedovello et al (1998) este método consiste na elaboração de carta geotécnica, com base na interpretação de produtos de sensoriamento remoto (imagens orbitais e fotografias aéreas) e na utilização de princípios de Análise de Terreno.

O procedimento compreende etapas de compartimentação fisiográfica, caracterização geotécnica e cartografia temática final (VEDOVELLO, 2000) – **Figura 2**.

A etapa de **Compartimentação Fisiográfica** permite definir Unidades Básicas de compartimentação (UBCs), as quais constituem a base para a determinação das unidades geotécnicas. A compartimentação fisiográfica consiste em dividir uma determinada área em unidades que apresentem homogeneidade quanto às características dos elementos componentes do meio físico e que, portanto, impliquem em um determinado comportamento geotécnico frente às ações e atividades antrópicas. Tais unidades devem ser obtidas segundo a abordagem fisiográfica e a partir da análise sistemática de produtos de sensoriamento remoto (VEDOVELLO, 2000). Esta compartimentação pode ser efetuada em diferentes escalas sendo comum a determinação de “classes” de unidades fisiográficas que englobam outras (em

escalas maiores) ou por outras são englobadas - em escalas menores (VEDOVELLO et al, 1998).

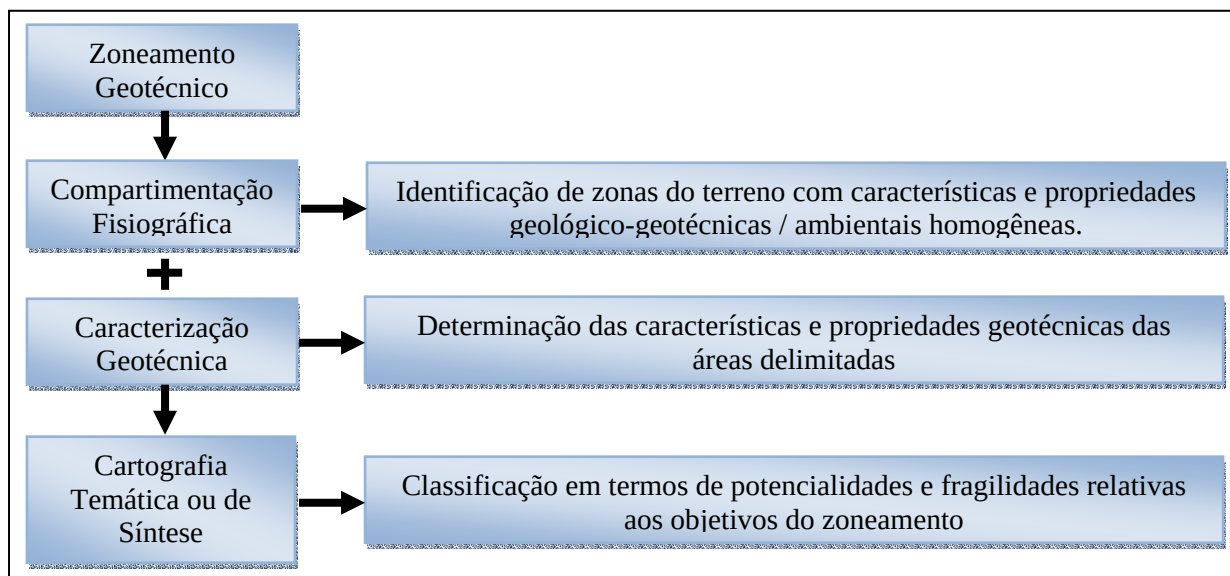


Figura 2: Procedimentos do método proposto por Vedovello (2000).

Para Vedovello (2000) a etapa de **Caracterização Geotécnica** consiste em determinar, para cada unidade obtida na etapa anterior, propriedades e características dos materiais (solos, rochas, sedimentos) e das formas (tipos de relevo e processos morfogenéticos) do meio físico que sejam determinantes das condições geológico-geotécnicas relevantes para a aplicação pretendida.

Pode ser considerada como o conjunto de procedimentos para a obtenção de dados (propriedades e características) geotécnicos sobre as unidades de compartimentação. Os dados geotécnicos analisados podem ser de natureza diversa e representar tanto característica da área individualizada como propriedades dos materiais que compõem essa área.

Por fim a etapa de **Cartografia Temática Final (Mapa de unidades básicas de compartimentação)** refere-se à classificação das unidades de compartimentação quanto à fragilidades ou potencialidades do terreno. Essa classificação é feita com base na análise das propriedades e/ou características do meio físico obtidas na etapa de caracterização geotécnica e determinadas por meio de critérios ou regras de classificação estabelecida para cada aplicação pretendida (VEDOVELLO, 2000).

4.3. Características do Contaminante (Petróleo e Derivados)

Segundo referências históricas, o conhecimento do petróleo pelo homem remonta desde 4.000 a.C. Os povos antigos utilizavam-se do betume para a pavimentação de estradas, aquecimento e iluminação das casas, como material de liga nas construções, embalsamento dos mortos, forma bélica, etc. Hoje, é base para fabricação dos mais variados produtos, dentre os quais se destacam: solventes, benzina, óleos combustíveis, óleo diesel, gasolina, querosene, lubrificantes, asfalto, alcatrão, polímeros plásticos e até mesmo medicamentos (UNGER, 2004).

O Petróleo (do latim *petrus* – pedra e *oleum* – óleo) é uma substância oleosa, inflamável, geralmente menos densa que a água, com cheiro característico e coloração que pode variar desde o incolor ou castanho claro até o preto, passando por verde e marrom (UNGER, 2004).

Apresenta milhares de compostos diferentes, formando uma mistura muito complexa. Entre os principais constituintes estão os hidrocarbonetos que, de acordo com a CETESB (2008a), chegam a atingir 98% da composição total. Os outros constituintes são compostos contendo elementos químicos como nitrogênio, enxofre, oxigênio e metais, principalmente níquel e vanádio (UNGER, 2004). Os óleos crus podem, também, conter pequenas quantidades de restos de material orgânico como fragmentos de esqueletos silicosos, madeira, esporos, resina, carvão e vários outros remanescentes de vida pretérita (CEPA, 2008).

Quadro 10: Composição do Petróleo Bruto

Composição	Porcentagem (%)
Carbono	81 a 88
Hidrogênio	10 a 14
Oxigênio	0,01 a 1,2
Nitrogênio	0,002 a 1,7
Enxofre	0,01 a 5,0

Fonte: PETROBRÁS (2001) *apud* Lamas (2003)

Os hidrocarbonetos podem ser agrupados em três séries químicas básicas: parafínica, naftênica e aromática. A maioria dos óleos crus compõe-se de misturas dessas três séries em proporções variáveis e amostras de petróleo retiradas de dois diferentes reservatórios não serão completamente idênticas. A série parafínica de hidrocarbonetos (também chamada como série do metano – CH₄) compreende os hidrocarbonetos mais comuns entre os óleos crus, já a série naftênica é, geralmente, a de maior densidade. (CEPA, 2008).

As maiorias dos óleos brutos não contêm concentrações abundantes de hidrocarbonetos aromáticos, isto é, BTEX (Benzeno, tolueno, etil-benzeno e xilenos), pois estes são produzidos durante o processo de destilação (FERREIRA et al, 1998).

4.3.1. Propriedades dos Hidrocarbonetos

O comportamento do contaminante no ambiente é influenciado, principalmente, por suas propriedades físico-químicas. De acordo com Ferreira et al (1998), essas propriedades, descritas a seguir, definem o tipo de transporte, a partição e o destino do contaminante.

- **Solubilidade:** esta propriedade controla a quantidade de soluto que sofre partição na fase aquosa e, assim, ser transportado em solução (CARDINALI, 2004). Segundo Ferreira et al (1998) a solubilidade dos compostos orgânicos decresce com o aumento do peso molecular e a presença de outros compostos co-dissolvidos na água pode afetar a solubilidade total do produto orgânico.

Processo em que uma substância pode se dissolver em um dado solvente. A solubilidade de um óleo em água é muito baixa. Nos óleos menos densos, a fração hidrossolúvel é, geralmente, maior se comparada à dos óleos mais densos (CETESB, 2008b).

- **Pressão de Vapor:** parâmetro que pode estimar a tendência de um composto sofrer volatilização e partição para a fase gasosa. Quanto maior a pressão de vapor, maior a taxa de volatilização da substância (CARDINALI, 2004).

- **Densidade:** propriedade que varia com as interações entre as substâncias, a estrutura molecular e o peso molecular (FERREIRA et al, 1998). A principal razão em se conhecer a densidade de uma substância, é determinar se esta flutuará, ou não, sobre a água (densidade > 1mg/l). Para CETESB (2008b), praticamente todos os óleos tem densidade específica menor que 1, porém o processo de intemperismo pode alterar as propriedades do óleo tornando-o mais denso e provocando o seu afundamento na água. A densidade do óleo cru a 15° C varia entre 0,8 a 0,95 mg/l.

- **Tensão interfacial:** a tensão interfacial é numericamente igual à energia interfacial formada no contato entre uma substância (sólido, líquido imiscível ou gás) e um líquido (CARDINALI, 2004).

- **Viscosidade:** é a resistência ao fluxo. Depende diretamente da temperatura e quantidade de frações leves na mistura (CETESB, 2008b). A viscosidade do óleo cru pode variar entre 20 a 1000 cs a 38°C.

- **Tensão superficial:** força de atração entre as moléculas de superfície de um líquido. A tensão superficial decresce com a temperatura (CETESB, 2008b)

4.3.2 Intemperismo do Óleo

Após o acidente envolvendo óleo, este sofre alterações da sua composição original, a taxas variáveis dependendo do tipo de óleo e condições ambientais, devido a uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos (CETESB, 2008c). Para este mesmo autor, o óleo derramado está sujeito a:

- **Espalhamento:** um dos mais significantes processos nas primeiras horas do derrame. Depende da força gravitacional, da viscosidade, da tensão superficial e das características do material que compõe o meio.

- **Evaporação:** depende da volatilidade do óleo.

- **Dispersão:** consiste em quebrar a mancha de óleo em gotas de diversos tamanhos, devido à agitação da água.

- **Emulsificação:** processo em que um líquido é disperso em outro líquido na forma de gotículas. A maioria dos óleos crus tende a absorver água formando emulsões água + óleo, aumentando o volume de poluentes em até quatro vezes.

- **Dissolução:** a dissolução do óleo depende de sua composição, do espalhamento, temperatura e turbulência da água e da taxa de dispersão. Os componentes pesados do óleo cru não se solubilizam, ao passo que os mais leves têm maior solubilidade (cerca de 5 ppm) em água. Outros constituintes do óleo como compostos de enxofre e sais minerais tem grande solubilidade.

- **Oxidação:** combinação química dos hidrocarbonetos com o oxigênio, formando compostos solúveis. Sais minerais dissolvidos em água aceleram a taxa de oxidação. Metais traço agem como catalisadores da reação de oxidação, ao passo que compostos de enxofre na mistura, faz decrescer essa taxa.

- **Sedimentação:** ocorre principalmente devido à adesão de partículas de sedimento ou matéria orgânica ao óleo. A sedimentação depende do grau de dispersão, sólidos suspensos na água e da contaminação do meio ambiente (lixo).

- **Biodegradação:** degradação do óleo por bactérias e fungos naturalmente presentes no meio. A taxa de biodegradação é influenciada pela temperatura e disponibilidade de nutrientes principalmente nitrogênio e fósforo. Em águas bem oxigenadas com temperaturas variando de 20 a 30°C, por exemplo, bactérias podem oxidar 2 g/m² de óleo ao dia.

4.3.3. Aspectos Toxicológicos

O contato dos organismos com frações tóxicas do óleo pode levar a morte por intoxicação, especialmente associadas às frações de compostos aromáticos. Entre os componentes mais tóxicos está o benzeno, tolueno e xileno, as quais apresentam considerável solubilidade em água (especialmente o benzeno), tornando os organismos aquáticos mais vulneráveis uma vez que absorvem estes contaminantes pelos tecidos, brânquias, por ingestão direta da água ou de alimento contaminado (CETESB, 2008d).

Um grupo especial dentro dos aromáticos agrupa os Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, conhecidos como HPA's ou PAHs. Sabe-se que estes compostos, formados por múltiplos anéis de benzeno, são mais resistentes a biodegradação microbiológica e bastante persistente no ambiente, já que são fortemente adsorvidos nos sedimentos. Alguns exemplos mais comuns de HPA's presentes no petróleo e derivados são o Naftaleno, Antraceno, Fenantreno e Benzopireno e seus vários isômeros. Os HPA's são especialmente tóxicos e potencialmente carcinogênicos ao homem e aos organismos aquáticos (CETESB, 2008d).

4.3.4. Formas de Transporte do Produto

O comportamento do contaminante no meio físico depende da sua composição, das suas propriedades físico-químicas e das características dos materiais sólidos que compõem o meio (FERREIRA et al, 1998).

No caso de um derrame em superfície (rompimento de um duto exposto, por exemplo) pode haver escoamento superficial, conduzindo o produto para cotas mais baixas ou infiltração, que é a passagem da substância para o interior do terreno.

A infiltração pode ocorrer através de fraturas ou da porosidade do material (solos ou rochas sedimentares). Segundo Mancini (2002) a infiltração em meio poroso ocorre primeiramente pela zona não saturada e posteriormente pela zona saturada. A zona não saturada ou zona de aeração corresponde à zona que possui uma parte dos espaços intergranulares preenchidos com água e a outra parte por ar; já a zona saturada corresponde àquela onde todos os espaços intergranulares estão preenchidos por água (AZEVEDO et al, 1998).

De acordo com Mancini (2002) na zona não saturada existe um sistema trifásico (ar, água e sólido), mas pode ocorrer o desenvolvimento de uma quarta fase representada pelo contaminante. Na zona saturada existe um sistema bifásico (o ar é substituído pela água), mas pode advir o sistema trifásico, na presença do contaminante (**Figura 3**).

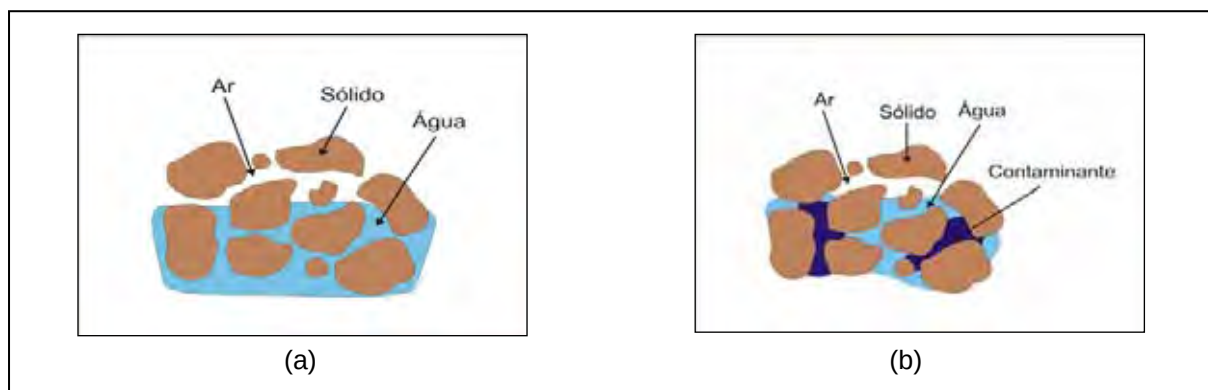


Figura 3: Diferentes fases presentes na zona não saturada sem contaminação (a) e zona saturada com presença do contaminante (b) – baseado em Mancini (2002).

Para Ferreira et al (1998) as formas de transporte do contaminante em meio poroso pode ocorrer através de fluxo aquoso (quando o meio de transporte é a água) ou de fluxo não aquoso (quando os produtos permanecem em fase separada durante o transporte, como é o caso dos hidrocarbonetos que são pouco solúveis na água).

A fase líquida não aquosa (NAPL) em meio poroso, pode deslocar o ar e a água presentes nos poros dos sólidos e assim atingir a zona saturada (FERREIRA et al, 1998). Segundo estes mesmos autores existem fatores do meio físico que afetam o transporte do contaminante nesta fase, os quais estão descritos abaixo:

- **Grau de Saturação:** a ocupação dos poros de um meio poroso por diferentes líquidos implicará em um grau de saturação e um coeficiente de permeabilidade diferente de um meio ocupado por um único líquido. Tais diferenças influenciam significativamente o transporte e a distribuição dos compostos dos NAPLs.
- **Saturação residual:** volume de hidrocarboneto (ou qualquer outro tipo de NAPL) armazenado nos poros, em relação ao volume total de poros. No contexto da contaminação das águas subsuperficiais, a saturação residual tem sido descrita como o grau de saturação no qual o NAPL torna-se descontínuo e é imobilizado por forças de capilaridade¹. Na zona saturada, a água forma uma cobertura ao redor dos sólidos, enquanto o NAPL ocupa a parte central dos poros, entretanto na zona não saturada, o NAPL se comporta como a água e espalha-se para os poros adjacentes. Este espalhamento resulta em uma redução ao nível de concentração residual, significando que uma quantidade maior de NAPL é sorvida na zona não saturada.

¹ Efeito de adesão do líquido com uma superfície sólida, fazendo com que este ascenda nos poros (BRAGA, 2000 apud CARDINALI, 2004).

- **Permeabilidade relativa:** como a água forma uma cobertura ao redor do sólido e o NAPL ocupa a parte central dos poros, nem a água nem o hidrocarboneto ocupa o volume total dos poros (diferente de um meio comum totalmente saturado por um único fluido). Isto significa que a permeabilidade do meio poroso em relação a dois líquidos será diferente, menor do que seria em um meio ocupado por um único líquido. Esta redução no coeficiente de permeabilidade é denominada de permeabilidade relativa e é definida como a taxa de permeabilidade para um fluido a uma dada saturação igual a 100%. A permeabilidade relativa situa-se em um intervalo de 1,0 para a completa saturação e 0,0 para não saturado. Na presença de duas fases, a permeabilidade zero não necessariamente corresponde a uma saturação de 0%. Quando o meio está saturado em NAPL, os valores de permeabilidade para o NAPL e a água são 1,0 e 0,0 respectivamente. O aumento de água nos poros provoca a expulsão do hidrocarboneto dos poros devido à imiscibilidade destes dois líquidos, reduzindo a permeabilidade relativa do NAPL para zero. O valor de permeabilidade zero não ocorre quando o volume de NAPL nos poros torna-se zero, mas em um nível de saturação residual próxima de zero, correspondente ao ponto S_m . Este ponto é denominado saturação residual do NAPL e reflete o fato de que num volume de 20% de NAPL nos poros, o coeficiente de permeabilidade relativa para o NAPL é efetivamente zero, que significa que nestas condições o NAPL é imóvel, favorecendo a sorção. O mesmo ocorre com o coeficiente de permeabilidade relativa para a água.

O transporte de NAPL através das zonas não saturada e saturada do solo depende da quantidade desse líquido liberado no meio.

Segundo Ferreira et al (1998), quando o volume liberado é pequeno a NAPL flui pela zona não saturada até atingir o estado de saturação residual. A água infiltrada no solo dissolve os componentes solúveis que compõe a NAPL e os transporta até a zona saturada. Esses contaminantes dissolvidos formam uma pluma que se distribui por difusão² e advecção³.

As substâncias voláteis encontradas na NAPL sofrem partição de modo que uma parte fica no solo e a outra no ar e são transportadas para outras partes do aquífero por difusão molecular. Os voláteis movem-se pela zona não saturada até atingirem a camada superficial do solo, os quais podem retornar para a fase líquida, dependendo das condições físico-

² Processo pelo qual, constituintes iônicos ou moleculares, se movimentam na direção de seus gradientes de concentração (CARDINALI, 2004).

³ Mecanismo onde os contaminantes seguem coincidentemente os vetores de fluxo (MANCINI, 2002).

químicas. Esses processos de volatilização, transporte e liquefação provocam o transporte de contaminantes sobre áreas muito extensas.

Quando um grande volume de hidrocarboneto é eliminado, este se dirige à franja capilar, próximo à zona saturada. Os componentes solúveis do contaminante ultrapassam os componentes menos solúveis. No topo da franja capilar, onde a água satura um grande volume de poros, o material acumulado causa uma diminuição na permeabilidade relativa do NAPL, impedindo de mover-se para baixo. O contaminante se espalha pelo topo da franja capilar e se o volume acumulado for suficientemente grande, o NAPL tende a migrar na mesma direção do fluxo da água subsuperficial (CARDINALI, 2004).

Em derrames com fornecimento grande e contínuo, há um enorme acúmulo do contaminante sobre a franja capilar, formando uma depressão na interface NAPL - zona saturada (**Figura 4a**). No caso de remoção ou esgotamento da fonte poluidora, o NAPL presente na zona saturada continua a migrar para níveis mais profundos, estacionando quando a concentração atinge o nível de saturação residual e, portanto, não pode mais avançar. A lixiviação do NAPL existente na zona não saturada reduz grande parte da frente de contaminação na interface NAPL – zona saturada, fazendo com que essa zona retroceda (**Figura 4b**). Este retrocesso faz com que a água subsuperficial desloque o NAPL que se encontra em estado de saturação residual. Parte das águas subsuperficiais e superficiais podem dissolver os materiais residuais, criando assim um nível elevado de contaminação dos solos, das rochas e da água subterrânea (FERREIRA et al, 1998).

O bombeamento das águas subterrâneas e as mudanças sazonais fazem com que ocorra um rebaixamento do nível d'água. Quando o NAPL está localizado no topo do nível saturado, a depressão associada causa também um rebaixamento do nível da NAPL. Quando a zona saturada retorna a sua condição normal, parte do contaminante é empurrada para cima, mas não totalmente; em razão da saturação residual uma parte permanece nos poros abaixo do novo nível da zona saturada. Desta forma o NAPL pode ocupar uma grande espessura da zona saturada, provocando a contaminação de um grande volume de água (FERREIRA et al, 1998).

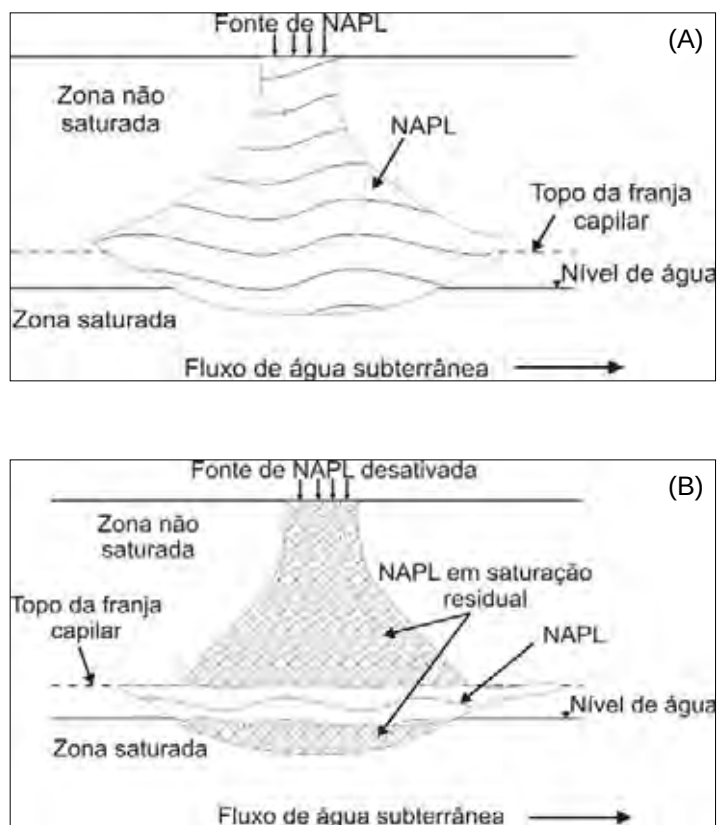


Figura 4: Depressão do Nível de água subterrânea resultando grande frente de contaminação (A) e elevação do nível d'água (B). Modificado de Ferreira et al (1998)

5. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDOS

O presente capítulo consiste na apresentação das características da área de estudos, em nível regional, com base nas publicações encontradas durante a fase de pesquisa bibliográfica. Este capítulo auxiliou na compartimentação do terreno para a elaboração da carta geológico-geotécnica.

5.1. Localização

A área de estudo localiza-se no Vale do Paraíba, seguindo o traçado do oleoduto que parte do Terminal de Guararema até a Refinaria Henrique Lage (REVAP), em São José dos Campos (S.P.) – **Figura 5**.

O Vale do Paraíba é uma região no leste do Estado de São Paulo, situando-se entre duas importantes capitais do Brasil: São Paulo e Rio de Janeiro. Possui um aeroporto internacional com pista dimensionada para pouso e decolagem de qualquer tipo de aeronave comercial (DIAS et al, 2004) e o acesso rodoviário pode ser feito pelas seguintes rodovias (DERSA, 2008):

- Rodovia Presidente Dutra (BR-116): liga São Paulo e Rio de Janeiro;
- Rodovia Dom Pedro I (SP-65): possibilita o tráfego em direção a Campinas
- Rodovia Ayrton Senna, antiga Rodovia dos Trabalhadores (SP-70): liga São Paulo e Guararema;

- Rodovia Carvalho Pinto (SP-70): liga Guararema e Taubaté e permite acesso a Campos do Jordão. Esta rodovia, juntamente com a rodovia Ayrton Senna concretizam a integração da região metropolitana de São Paulo com o Vale do Paraíba e;
- Rodovia dos Tamoios (SP-99): possibilita o acesso ao Litoral Norte.

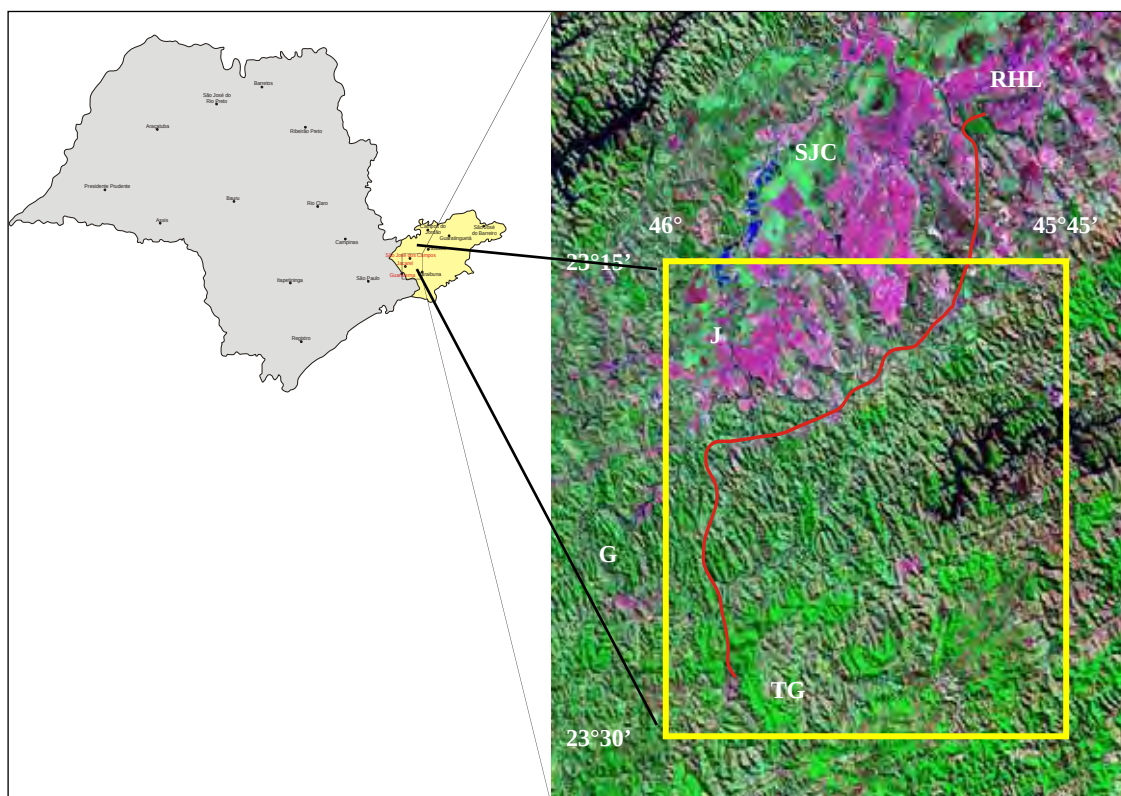


Figura 5: Localização da área de estudos, destacando-se a região do Vale do Paraíba (amarelo). Na imagem destaca-se o traçado do oleoduto “Guararema - São José dos Campos” (linha vermelha), o Terminal de Guararema (TG), a Refinaria Henrique Lage (RHL), as cidades de Guararema (G), Santa Branca (SB), Jacareí (J) e São José dos Campos (SJC) e a área de estudos (linha amarela). Fonte da Imagem: GeoCover Landsat TM, 2000.

A região é caracterizada pela sua importância econômica para o país ressaltando-se o parque industrial altamente desenvolvido principalmente nos setores automobilístico, aeroespacial/aeronáutico, bélico, metal-mecânico e siderúrgico (REIS et al., 2006). Destaca-se, também, a atividade de extração de areia, que segundo Reis et al (2006), este recurso mineral é o mais amplamente utilizado no Vale do Paraíba, respondendo por 5% da produção do Brasil e 25% da produção do Estado, voltada principalmente para atender a demanda da região metropolitana de São Paulo, que consome 80% da produção.

5.2. Clima

Na região, o clima é tropical úmido, com as variações naturais decorrentes das mudanças de relevo e incidência de chuvas (IPT, 1990).

Os altos serranos da Mantiqueira (a norte) e a borda da Serra do Mar (a sul) são os dois setores em que é maior a pluviosidade, atingindo facilmente valores de 1700 mm anuais (IPT, 1990). Estes altos influenciam orograficamente na gênese das chuvas na região do Vale do Paraíba, as quais oscilam entre 1.200mm e 1.300mm ao ano, com distribuição bastante uniforme (VALE DO PARAÍBA, 2007).

Segundo IPT (1990) as médias termiais anuais da região variam de 20 a 22°C e os setores serranos apresentam médias inferiores a 18°C.

5.3. Geologia Regional

A região do Vale do Paraíba está inserida na porção central da Província da Mantiqueira, conhecida como Faixa Ribeira, destacando-se as seguintes unidades geológicas: o embasamento cristalino, com diversos tipos litológicos do Pré-Cambriano, rochas granitóides e rochas sedimentares da Bacia de Taubaté.

5.3.1. Embasamento Cristalino

As rochas do embasamento cristalino atribuem-se ao Grupo Açungui, composto por seqüências gnáissico-migmatíticas designadas de Complexo Embu. De acordo com Fernandes et al (1990), as associações litológicas do Complexo Embu foram agrupadas em três unidades estratigráficas: Unidade Rio Una, Unidade Rio Paraibuna e Unidade Redenção da Serra.

a) **Unidade Rio Una**: esta unidade ocorre em duas faixas: a primeira faixa compõe-se de xistos, quartzitos e rochas calciossilicatadas da Fácies anfibolito, zona da sillimanita-muscovita, com gradações longitudinais à zona da sillimanita-feldspato potássico (HEILBRON et al, 2004). Já a segunda faixa é composta por xistos e quartzitos da Fácies xisto verde (HEILBRON et al, 2004), sendo muito rica em pegmatitos quando encaixada na zona de cisalhamento de Cubatão (FERNANDES et al, 1990).

b) **Unidade Rio Paraibuna**: diferencia-se das outras unidades, pela presença de quartzitos placosos métricos (muitas vezes arcóianos), em camadas persistentes, que se intercalam, quase sempre, com rochas calciossilicatadas de alteração argilosa e litotipos como: gnaiss fino tonalítico/quartzo diorítico, rico em biotita, quase sempre alterado;

granada-sillimanita-biotita-quartzo xistos ou gnaisses; e gnaisse granítico hololeucocrático, blastomilonítico (FERNANDES et al, 1990).

c) **Unidade Redenção da Serra:** segundo Fernandes et al (1990), esta unidade constitui-se de 3 associações. A Associação 1 tem como principal litotipo biotita gnaisse tonalítico ou granoiorítico, com abundantes intercalações de rochas calciossilicatadas bandadas, além de anfibolitos e raramente mármore. A Associação 2 apresenta gnaisses peraluminosos como litotipo predominante, os quais, às vezes, associam-se a material granítico, constituindo enclaves, dando aspecto de migmatito evoluído à rocha; raramente encontra-se anfibolitos e quartzitos impuros intercalados a estas rochas. Já a Associação 3 apresenta 2 litotipos principais (biotita gnaisse e granada-sillimanita-biotita gnaisse), os quais, além de se intercalarem, intercalam-se com anfibolitos, boudins de rochas calciossilicatadas, quartzitos impuros e bandas ricas em biotita e bandas ricas em granada.

5.3.2. Rochas Granitóides

As rochas granitóides encontradas na área relacionam-se ao magmatismo neoproterozóico, marcado pela ausência de granitos metaluminosos (JANASI & ULBRICH, 1991 *apud* HEILBRON et al, 2004). Fernandes et al (1990) admitem que estas rochas constituem corpos batolíticos, posteriores a foliação S2 e são representadas pelos maciços Quebra Cangalha, Lagoinha e Natividade da Serra.

No Maciço Quebra Cangalha predomina muscovita-biotita monzogranitos inequigranulares e muito restritamente biotita granito porfirítico com cristais de feldspato idiomórficos. O Maciço Lagoinha apresenta os seguintes litotipos: biotita granito porfirítico, inequigranular, raramente com granadas; biotita granito fino a médio, equigranular e muscovita-biotita granito com granada. Já o Maciço Natividade da Serra apresenta (muscovita)-biotita granito, equigranular; biotita granito com muscovita, porfirítico, foliação marcante e megacristais alongados, contendo segregações quartzo-feldspáticas e ricas em turmalina lenticulares; e (hornblenda)-biotita granitóide com titanita e sulfetos como acessórios (FERNANDES et al, 1990).

Ocorrem, ainda, corpos menores isolados ou intrusões tardias dentro de alguns maciços. Estes corpos são mais diferenciados e são representados por muscovita-granadaturmalina, granitos, aplitos e pegmatitos (HEILBRON et al, 2004).

5.3.3. Bacia de Taubaté

A Bacia de Taubaté é uma unidade geotectônica, embutida no complexo cristalino pré-cambriano do leste paulista entre as serras da Mantiqueira, a norte e o Planalto da Bocaina, a sul (HASUI et al, 1978). Juntamente com as bacias de São Paulo, Resende e Volta Redonda, a bacia de Taubaté constitui uma bacia tipo *rift*, pertencente ao segmento central do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil – RCSB (RICCOMINI et al 2004).

De acordo com Riccomini et al (1989), o preenchimento da Bacia de Taubaté foi dividido em duas fases: na primeira fase houve a deposição das formações Resende, Tremembé e São Paulo, representando, respectivamente, os sistemas de leques aluviais, lacustre e de rios meandantes; na segunda fase houve a deposição da Formação Pindamonhangaba, representando o sistema fluvial meandrante que se sobrepõe, em discordância erosiva às formações inferiores; além de depósitos aluviais e coluviais quaternários. A **Figura 6** mostra o mapa geológico da Bacia de Taubaté.

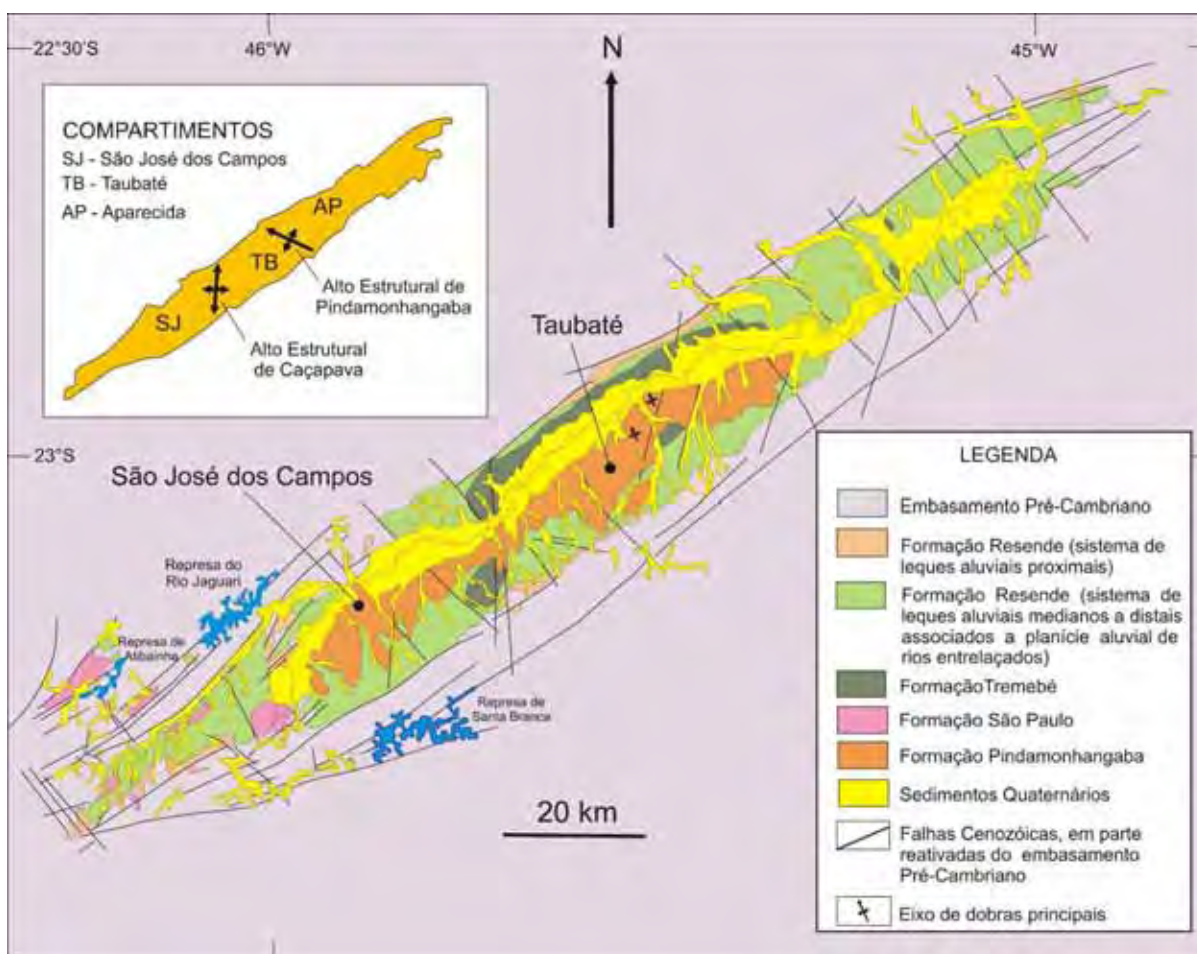


Figura 6: Mapa geológico da Bacia de Taubaté. Modificado de Riccomini et al (2004).

a) **Formação Resende**: composta por conglomerados, lamitos e arenitos (RICCOMINI et al, 1989). Os conglomerados apresentam seixos e matacões angulosos a subarredondados de rochas gnáissicas, graníticas e alcalinas em matriz lamítica a arenosa. Já os lamitos são argilosos, podendo conter acumulações de matéria orgânica (linhido) e, por vezes, apresentarem-se arenosos maciços ou conglomeráticos. Os arenitos são maciços, subarcosianos a arcoseanos, de granulometria média a grossa, localmente conglomeráticos (GOENOPAWIRO, 1997) podendo apresentar estratificações cruzadas acanaladas de médio porte (RICCOMINI et al, 1989).

b) **Formação Tremembé**: compõe-se de argilitos verdes, dolomito, ritmitos (alternância de lâminas ou camadas de folhelhos e margas) e arenitos (RICCOMINI et al, 2004). Os argilitos verdes são maciços, freqüentemente fossilíferos e às vezes exibindo gretas de contração e concreções calcíferas de dimensões até decimétricas. Os dolomitos são verde-acinzentados a brancos e intercalam-se nos argilitos verdes (RICCOMINI et al, 2004). Os folhelhos são, localmente, fossilíferos e às vezes pirobetuminosos; já as margas são ricas em ostracodes e podem gradar para calcários (SUGUIO, 1969 *apud* RICCOMINI et al, 2004).

Os arenitos ocorrem em duas formas: na primeira forma são finos a médios com estratificação cruzada de grande porte; na outra forma são tabulares com gradação normal da base para o topo – base grossa, arcoseana, conglomerática, gradando para arenitos finos, quartzosos, com laminações cavalgantes, siltitos bioturbados e argilitos com gretas de contração no topo (RICCOMINI et al, 2004).

Segundo Saad (1990), esta Formação é muito rica em fósseis, compostos por restos de espécies vegetais (folhas e troncos) e animais (tubos de vermes, espículas de esponjas, ostracodes, gastrópodes, crustáceos, insetos, restos de peixes, aves, répteis e mamíferos). Além de associação palinológica representada por esporos, grãos de pólen, algas e fungos (IPT, 1990).

c) **Formação São Paulo**: formada por arenitos, siltitos e argilitos que recobrem concordantemente a Formação Resende (RICCOMINI et al, 1989). Os arenitos apresentam camadas com base erosiva, granulometria grossa e conglomerática, com clastos argilosos e estratificação cruzada. Ocorrem, também, arenitos médios a grossos gradando para sedimentos mais finos, rítmicos e laminados, representando sedimentos de rompimento de diques marginais. Os siltitos e argilitos são laminados, às vezes fossilíferos, depositados em meandros abandonado (RICCOMINI et al, 1989).

d) **Formação Pindamonhangaba**: recobre discordantemente os depósitos das formações Tremembé, Resende e São Paulo, sendo dividida nos membros Rio Pararangaba e

Presidente Dutra. O Membro Rio Pararangaba é constituído por conglomerados que gradam para arenitos grossos a médios com estratificações cruzadas tabulares e acanaladas e registros locais de pacotes decimétricos de argilas ricas em matéria orgânica. Já o Membro Presidente Dutra constitui-se por argilitos maciços a laminados, rítmicos e intercalados por siltitos e arenitos finos. Ocorrem, ainda, camadas de arenitos grossos com intraclastos de argilitos, atribuídas a depósitos de rompimento de diques marginais. Nos argilitos e siltitos podem-se encontrar impressões de vegetais fósseis e moldes de moluscos.

e) Sedimentos Quaternários: Os sedimentos quaternários são depósitos sedimentares representados pelas aluviões atuais de rio Paraíba do Sul, depósitos de tálus e depósitos colúvio-aluvionares (IPT, 1990).

Os depósitos aluvionares compõem-se por argilas orgânicas, lamitos, lamitos arenosos, areias e cascalhos. Estes depósitos relacionam-se com a rede de drenagem atual influenciada pelo condicionamento estrutural e litológico, dispondo-se segundo a estrutura regional (N60E) e outras direções como N10 a 20 W, refletindo o sistema de fraturas e/ou falhas (IPT, 1990).

Os depósitos de tálus ocorrem, geralmente, associados às frentes escarpadas de serras, que se sobressaem em relação aos relevos associados à Bacia de Taubaté (IPT, 1990). Já os colúvios distribuem-se de forma generalizada em praticamente toda a porção da média a alta encosta, à exceção dos locais onde ocorrem os solos e terraços aluviais.

5.4. Geologia Estrutural

Segundo Hasui et al (1978), a região do Vale do Paraíba está embutida no Bloco Tectônico Paraíba do Sul, delimitado pelas falhas do Buquira, a norte e a do Alto da Fartura a sul (**Figura 7**). Estas falhas são de caráter transcorrente, atribuídas aos movimentos finais do Ciclo Brasileiro (CARNEIRO et al, 1976) e reativadas com movimentos normais, no Terciário; caracterizam-se por terem constituído zonas de rochas cataclásticas espessas de até centenas de metros a alguns quilômetros (HASUI et al, 1978).

O caráter transcorrente do movimento se deduz pela lineação de atrito presente nos planos de foliação desenvolvida pelo esmagamento. A foliação tem direção paralela ao traço da falha e mergulho subverticais; a lineação é sub-horizontal, podendo, os mergulhos, atingir valores de 30° para os dois rumos (HASUI et al, 1978).

Para estes mesmos autores, os movimentos normais são constatados através de estrias e em apenas alguns locais. As estrias dos movimentos transcorrentes são lineações

Segundo os autores citados acima, as falhas longitudinais e os altos transversais criaram uma compartimentação da bacia, reconhecendo-se as sub-bacias do Parateí, Jacareí, Eugênio de Melo, Tremembé e Lorena.

Mesmo após a sedimentação da bacia de Taubaté, os movimentos tectônicos prosseguiram, gerando falhas com orientações NNW a NNE, que cortam os sedimentos das últimas camadas. Essas falhas são planos, superfícies ou zonas brechadas, solitários ou conjugados que formaram escadarias ou pequenos “grábens” e “horsts”. Por vezes há falhas antitéticas associadas. Os movimentos tectônicos foram normais, segundo o mergulho, ou oblíquos, raramente com forte componente horizontal. Ocasionalmente aparentam inversão, mas deve ser atribuído a abatimento de lapa e não cavalgamento da capa (HASUI et al, 1978).

Para estes mesmos autores foi difícil estabelecer se esses deslocamentos se devem a acomodações tectônicas finais ou a uma nova fase de movimentação.

5.5. Geomorfologia Regional

De acordo com a divisão geomorfológica do Estado de São Paulo, elaborada pelo IPT (1981), a área de estudos insere-se na Província do Planalto Atlântico, mais especificamente na zona do Médio Vale do Paraíba.

Segundo IPT, 1981, o Médio Vale do Paraíba é uma zona que se subdivide em uma região de morros desenvolvidos sobre rochas cristalinas pré-cambrianas, conhecida como Morros Cristalinos e uma região denominada de Colinas Sedimentares, localizando-se a Bacia de Taubaté (**Figura 8**).

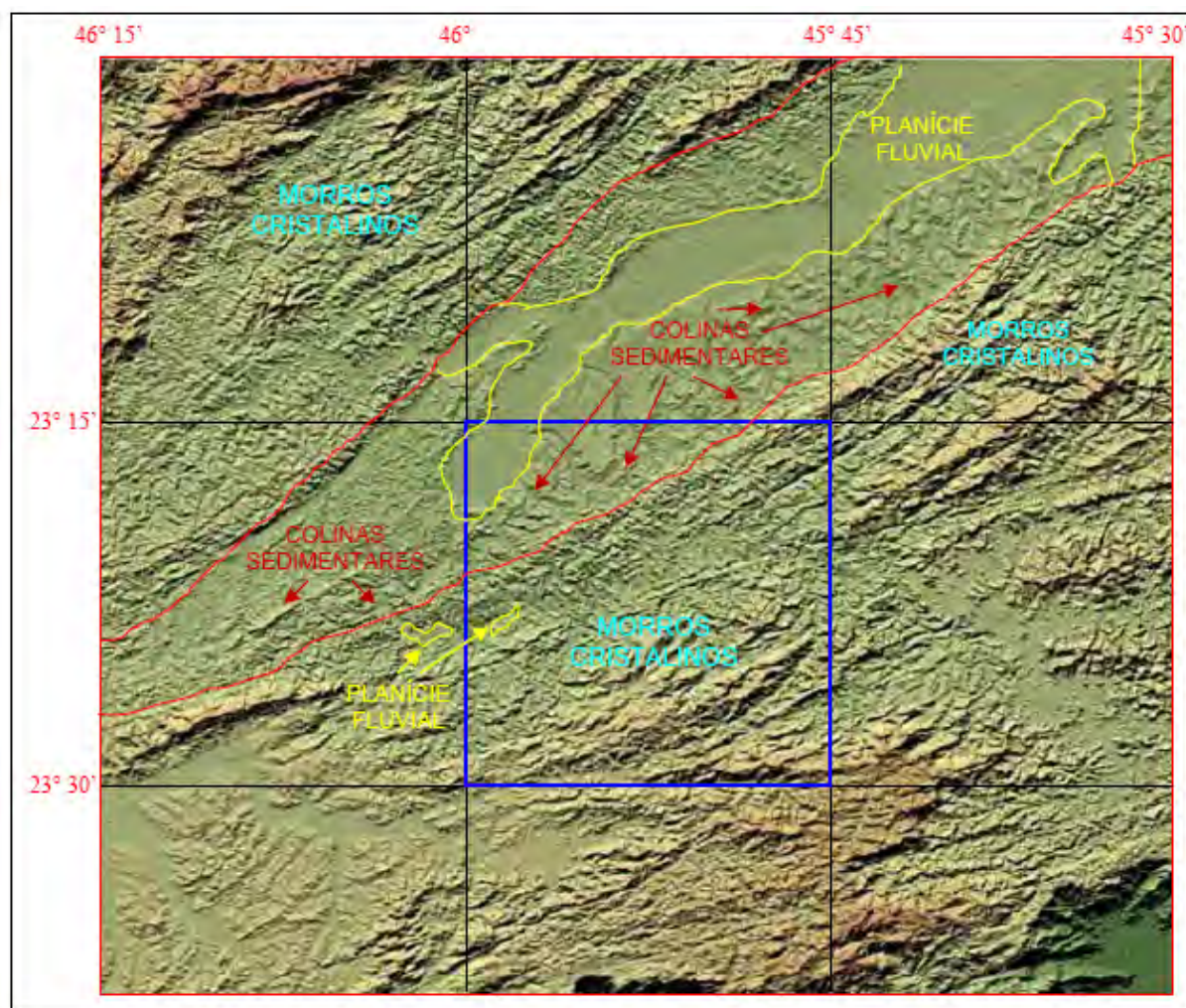


Figura 8: Relevo regional da área estudada. Imagem SRTM compatível com a escala 1:100.000. Fonte: Miranda (2005). Notar delimitação que separa a zona de colinas sedimentares (coincidente com a Bacia de Taubaté) e a zona de morros cristalinos.

5.5.1. Morros Cristalinos

Os Morros cristalinos dispõem-se ao redor da Bacia de Taubaté, emoldurando os relevos de colinas com altitudes que alcançam até 1.400m. As formas de relevo são representadas por morros e morrotes (Morros Paralelos, Mar de Morros e Morrotes Alongados) com topos angulares a arredondados e vertentes tendendo à convexidade (IPT, 1981).

A estrutura dos Morros Cristalinos é predominantemente gnáissica, porém os granitos sustentam elevados morros e serras como é o caso dos morros perlongados pela Via Presidente Dutra entre Roseira e Guaratinguetá e as serras de Itapetí nos municípios de Mogi das Cruzes e Guararema (ALMEIDA, 1974).

5.5.2. Colinas Sedimentares

As Colinas Sedimentares coincidem com a área da Bacia de Taubaté e apresentam relevos que vão desde formas extremamente regulares e suavizadas como os Tabuleiros e Colinas Amplas, até Colinas Pequenas com espigões locais (IPT, 1981), além de Planícies Aluviais, encontradas ao longo do Rio Paraíba do Sul.

De acordo com Almeida (1974) a Bacia de Taubaté apresenta relevo de baixas chapadas e amplas colinas de perfis pouco inclinados, suavemente convexos e as altitudes não ultrapassam 700m.

Para Ab'Saber & Bernardes (1958) apud IPT (1981) entre as extremidades sudoeste da Bacia de Taubaté até Jacareí, a região caracteriza-se com colinas mais elevadas e semelhantes às elevações do cristalino.

Segundo Coltrinari (2003) na região de São José dos Campos há um tabuleiro embutido na depressão tectônica regional com preservação de níveis mais altos de colinas sedimentares (615-650m), denominado de superfície de São José dos Campos.

O arranjo do relevo na Bacia de Taubaté reflete a orientação NE das direções estruturais e litológicas do embasamento que, por sua vez, espelham feições mais antigas, reativadas em forma descontínua entre o Mesozóico e o Terciário (COLTRINARI, 2003). Planaltos e escarpas refletem a ocorrência de rochas resistentes, enquanto uma seqüência de hemi-grabens, orientados segundo direções ENE e preenchidos por sedimentos continentais, desenvolveu-se ao longo de desnivelamentos gerados por falhas (COLTRINARI, 2003).

5.5.3. Planícies Fluviais

As Planícies fluviais são terrenos que, devido à baixa declividade, são formadas por sedimentos fluviais (aluviões) recentes e encontram-se às margens dos rios, estando sujeitos a inundações periódicas.

Na área de estudos, as planícies fluviais ocorrem tanto na zona de colinas sedimentares, quanto na zona de morros cristalinos, nas áreas de deposição e inundação do Rio Paraíba do Sul.

Estas áreas apresentam baixa declividade, da ordem de 2°, sendo formadas por areias, argilas e cascalhos.

5.6. SOLOS

A diferenciação dos solos quanto à constituição e espessura acompanha as formações geomorfológicas e geológicas da região, ou seja, respondem ao posicionamento no relevo, inclinação da vertente, histórico de movimentos de massa, a pluviosidade e ao tipo, textura e estrutura da rocha matriz.

Na região do Vale do Paraíba, os solos se apresentam bem desenvolvidos e profundos nas áreas de morros e colinas e pouco desenvolvidos e pouco profundos em áreas de alta declividade (encostas íngremes) e nas áreas onde o nível da água é elevado (áreas de várzeas).

Segundo a classificação pedológica simplificada proposta pelo Instituto Agrônomo de Campinas - IAC (1999) predominam os Gleissolos, Latossolos, Argissolos, Cambissolos e Espodossolos (**Figura 09**).

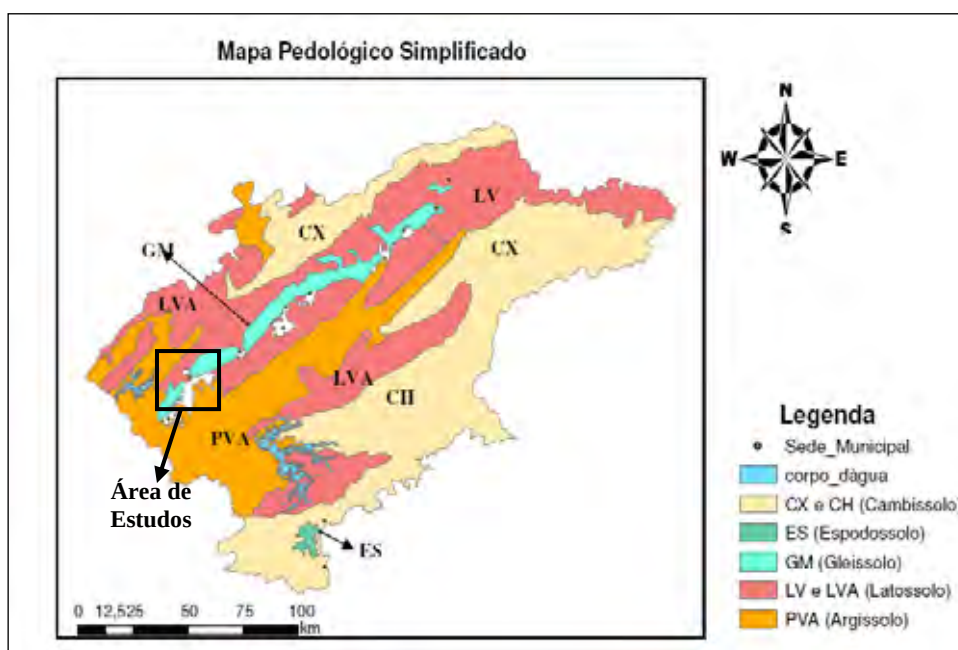


Figura 09: Mapa pedológico simplificado da região do Vale do Paraíba. Destaque para a área de estudos. **Fonte:** modificado de IAC (1999)

Os Gleissolos são solos hidromórficos, pouco profundos e com alto teor de matéria orgânica no horizonte A. Resultam do nível elevado do NA e em decorrência da acumulação acentuada de matéria orgânica e de sedimentos aluviais argilo-siltosos. Situam-se junto às várzeas associados a solos orgânicos e aluviais.

Latossolos são solos não hidromórficos, profundos e com textura argilosa. Ocorrem em relevo ondulado e suavemente ondulado.

Os Argissolos são solos bem evoluídos, argilosos e apresentam mobilização de argila no horizonte B. Ocorrem em relevo suave ondulado.

Cambissolos são pouco desenvolvidos e com horizonte B incipiente. Ocorrem em regiões montanhosas.

Os Espodossolos são solos jovens (pouco desenvolvidos), ácidos e que evidenciam a atuação do processo de podzolização. Ocorrem em regiões mais íngremes.

Do ponto de vista da Geologia de Engenharia, na área de estudos, podem-se distinguir os solos em horizontes de acordo com o grau de alteração. Tais solos podem ser classificados como: solos superficiais (orgânicos), solos residuais (maduro) e solos saprolíticos, como mostra o **Quadro 11**:

Quadro 11: Perfil de intemperismo para regiões tropicais. **Fonte:** Gomes da Silva (2006)

VAZ, 1996					WOLLE, 1985		
Classificação		Classes	Comportamento	Processos	Perfil de Intemperismo		
SOLO RESIDUAL	Solo vegetal (SV)	S1	Homogêneo isotrópico	Pedológicos		Solo Superficial	
	Solo eluvial (SE)					Solo Maduro	
	Solo de alteração saprolito (SAS)	S2	Heterogêneo anisotrópico	Intemperismo Químico		Solo Saprolítico	
ROCHA	Rocha alterada mole (RAM)	R3	Depende do tipo de rocha			Intemperismo Químico	Saprolito
	Rocha alterada dura (RAD)	R2				Intemperismo Físico	Rocha Alterada
	Rocha sã (RS)	R1		Incipientes ou ausentes		Rocha Sã	

- **Solo Orgânico:** Horizonte superficial do terreno, constituído de material terroso, intensamente alterado, com grande quantidade de restos vegetais e com cores cinza escuro e preto.

- **Solo Residual:** Provêm da decomposição “*in situ*” das rochas pré-existent, variando a constituição de acordo com a rocha que lhe deu origem. Nesta camada os minerais estão

totalmente decompostos, não se observando mais, nenhuma estrutura geológica da rocha matriz. São solos friáveis, porosos, de textura variável, com baixa capacidade de troca catiônica e fortemente intemperizados. A área de estudos apresenta solos residuais de gnaisses, xistos, migmatitos, granitos, quartzitos, cálcio-silicatadas, anfibolitos e de rochas sedimentares (arenito, siltito e argilito).

- **Solos Saprolíticos:** Trata-se, também, de um solo “*in situ*” apresentando orientação e estruturas remanescentes da rocha matriz. Geralmente apresentam alguns minerais primários facilmente alteráveis. São predominantemente areno-siltosos e a sua estrutura é quase maciça e os vestígios de xistosidade, gnaissificação e demais planos de fraquezas da rocha original nem sempre são de fácil identificação. Da mesma forma que os solos residuais, a área de estudos apresenta solos saprolíticos de gnaisses, xistos, migmatitos, granitos, quartzitos, cálcio-silicatadas, anfibolitos e de rochas sedimentares (arenito, siltito e argilito).

Além dos solos citados acima, pode-se encontrar, ainda, solos coluvionares, corpos de tálus e solos aluvionares.

Os **solos coluvionares** são massas de materiais transportados (solo e rocha) e depositados de forma caótica com mal selecionamento sobre as encostas e na base das mesmas, devido à ação combinada da água e por efeito da gravidade. São depósitos constituídos predominantemente de materiais finos com quantidade variáveis de matacões de dimensões, forma e composição extremamente diversificadas (RODRIGUES, 1992). Apresentam espessuras variadas podendo atingir dezenas de metros.

Os **corpos de tálus** são depósitos constituídos por grande quantidade de matacões imersos em matriz fina (argilo-silto-arenosa). Apresentam forma e espessuras variadas podendo atingir dezenas de metros. Caracterizam-se pela heterogeneidade textural de arranjo dos blocos de rocha que, normalmente, apresentam-se com forma angulosa e de suas propriedades físicas, o que resulta na existência aleatória de zonas preferenciais de percolação de água e na sua precária estabilidade (RODRIGUES, 1992).

Os **solos aluvionares** são solos pouco desenvolvidos, resultantes de deposições fluviais recentes. Devido à natureza dos sedimentos depositados suas características morfológicas variam muitos, principalmente com relação à textura, cor, estrutura e consistência (RODRIGUES, 1992). Na região encontram-se solos aluvionares argilosos que são os solos mais férteis e ainda solos arenosos, com elevada porosidade, mas muito ácidos e pouco férteis.

5.7. Recursos Hídricos

5.7.1. Hidrografia

A região é dissecada por uma série de rios que provém dos relevos cristalinos e que deságuam no rio Paraíba do Sul (COLTRINARI, 2003), o qual é formado pela confluência dos rios Paraitinga e Paraibuna.

Segundo Dias et al (2004) após a confluência, próximo à cidade de Paraibuna, o rio Paraíba do Sul continua em direção a oeste até as proximidades da cidade de Guararema, onde é barrado pela Serra da Mantiqueira, no chamado “Cotovelo” de Guararema onde muda de direção para nordeste e, depois, para leste.

O rio Paraíba do Sul percorre 1.354 km nos territórios dos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (DIAS et al, 2004) e é utilizado para fins domésticos e industriais, tanto como fonte de abastecimento quanto receptor de efluentes. No trecho paulista, apresenta características de rio meandrante ao longo de praticamente todo seu percurso (COLTRINARI, 2003) e seus principais afluentes são os Rios Jaguari, Una, Buquira, Embaú, Piquete, Bocaína e Pitangueiras/Itagaçaba (DIAS et al, 2004).

5.7.2. Hidrogeologia

Segundo a Fundação Coppetec (2008) a região possui dois sistemas de aquíferos: o Sistema Aquífero Cristalino e o Sistema Aquífero Taubaté.

O Aquífero Taubaté possui grande potencial hídrico e intensa exploração, com aproximadamente 700 poços catalogados (VIDAL et al, 2002), porém a exploração não é uniforme em virtude da variação da capacidade de fluxo, influenciada pela heterogeneidade litológica (DAEE 1977 apud VIDAL et al, 2004).

A Fundação Coppetec (2008) constatou que as porções sudeste e noroeste da bacia apresentam elevadas vazões, com médias que variam de 40 a 200m³/h. Já a região central da bacia, entre os municípios de Taubaté e Pindamonhangá, apresenta as menores vazões com médias que variam de 20 a 30 m³/h.

De acordo com Vidal et al (2002) o aquífero Taubaté é caracterizado pela interdigitação de arenitos e lamitos, recebendo com isso a denominação de aquífero multicamadas. A maior parte do aquífero está sob condições freáticas (livres) ou pouco confinadas, com pressão acima da hidrostática somente em áreas limitadas (DAEE 1977 apud VIDAL et al, 2004).

O fluxo subterrâneo acompanha, grosso modo, as cotas topográficas em direção ao Rio Paraíba do Sul (VIDAL et al, 2004)

O sistema aquífero Cristalino, o qual ocorre nas estruturas geológicas (falhas, fraturas, etc) das rochas cristalinas, apresenta condições aquíferas apenas em alguns locais, sendo explorado por algumas dezenas de poços tubulares de pequeno rendimento, podendo alcançar, excepcionalmente de 10 a 20 m³/h (FUNDAÇÃO COPPETEC, 2008).

Silva et al (2007) elaboraram um mapa de isovalores de vazões das áreas cristalinas, mostrando as regiões de São José dos Campos e de Paraibuna como as mais promissoras em água subterrânea, com vazões superiores a 25m³/h. (**Figura 10**).

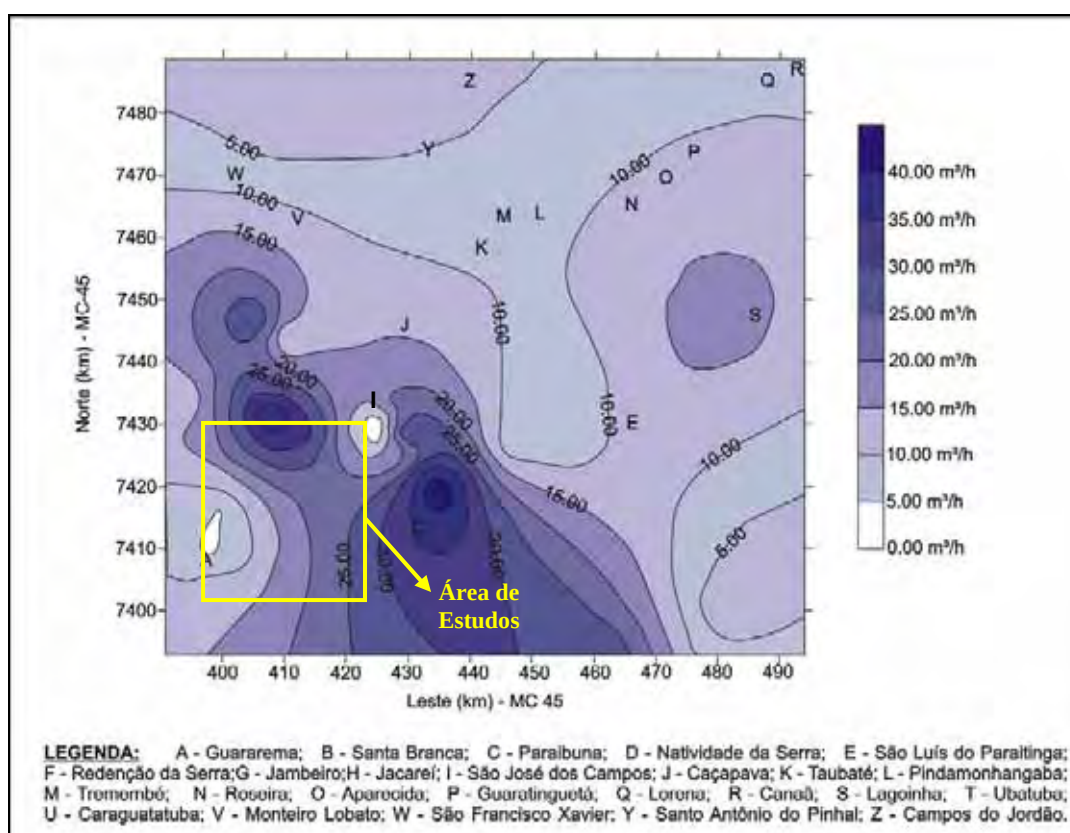


Figura 10: Mapa de contorno de isovalores referente a vazões de poços artesianos no sistema cristalino. Fonte: Silva et al (2007)

5.8. Cobertura Vegetal e Uso do Solo

De acordo com a Agência Nacional das Águas – ANA (2008), no Vale do Paraíba há duas categorias de florestas, ambas consideradas bioma Mata Atlântica: floresta ambrófila,

sob a influência de clima mais úmido e a floresta estacional, que se distribui nas áreas de clima mais seco.

Devido à intervenção humana, as florestas naturais foram reduzidas em remanescentes isolados e são mais expressivas apenas onde o relevo se torna montanhoso (ANA, 2008).

A **Figura 11**, resultado de estudos realizados por Pavão et al (2007), mostra o panorama da cobertura vegetal remanescente da região, o qual apresenta alteração da vegetação natural (redução ou aumento) em um período entre 1997 e 2006.

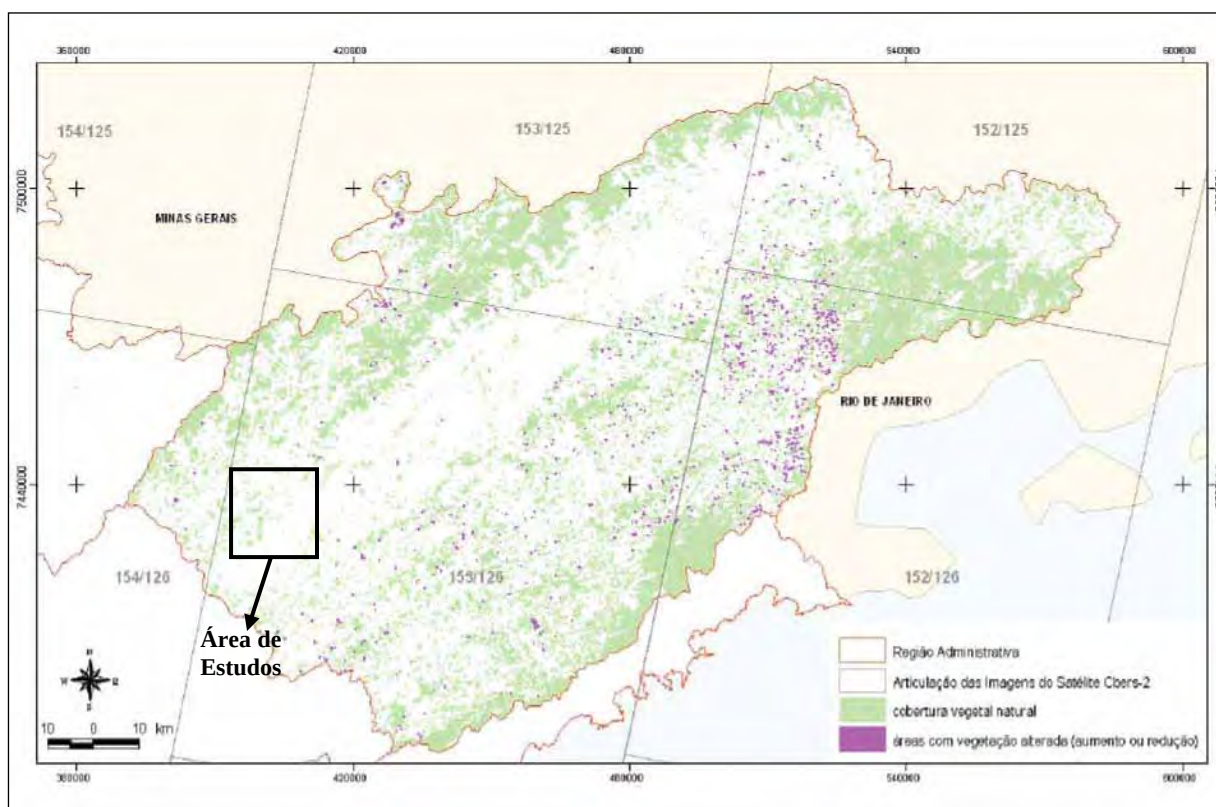


Figura 11: Cobertura vegetal natural (verde claro) e áreas com vegetação alterada (roxo), da Região Administrativa do Vale do Paraíba (2006-resultados parciais). Destaque para a área de estudos com pouca vegetação natural. Fonte: Pavão et al (2007).

Na região, além das florestas, pode-se encontrar manchas de cerrado e gramíneas, a qual é utilizada como pastagens (MATSUMOTO et al 2001).

O **Quadro 12** e a **Figura 12** mostram a distribuição das classes de vegetação e uso do solo na Bacia do Rio Paraíba do Sul (porção do estado de São Paulo), identificadas a partir de imagens de satélite.

As florestas naturais que ocupavam a maior parte da Bacia estão hoje reduzidas a aproximadamente 16% do território. Em termos de área ocupada, os campos/pastagens

aparecem como principal forma de uso da bacia (57,5%), representado principalmente pela pecuária, embora boa parte do que se classifica como campo/pastagem seja de terras degradadas, com pouca ou nenhuma atividade agrícola.

Quadro 12: Distribuição das classes de vegetação e uso de solo na Bacia do Paraíba do Sul (Porção do estado de São Paulo). Fonte: ANA (2008)

VEGETAÇÃO E USO DO SOLO	SÃO PAULO	
	ÁREA (Ha)	%
Floresta Estacional	4.508	0,3
Floresta Ombrófila	213.368	15,4
Vegetação Secundária	170.816	12,3
Reflorestamento	60.872	4,4
Campo/Pastagem	799.328	57,5
Área Agrícola	63.176	4,5
Área Urbana	35.632	2,6
Várzea	796	0,1
Campo de Altitude	12.244	0,9
Afloramento rochoso	436	0
Solo exposto	1.576	0,1
Outros	296	0
Rios e Lagos	22.392	1,6
Não sensoriada	3.896	0,3
TOTAL	1.389.336	100

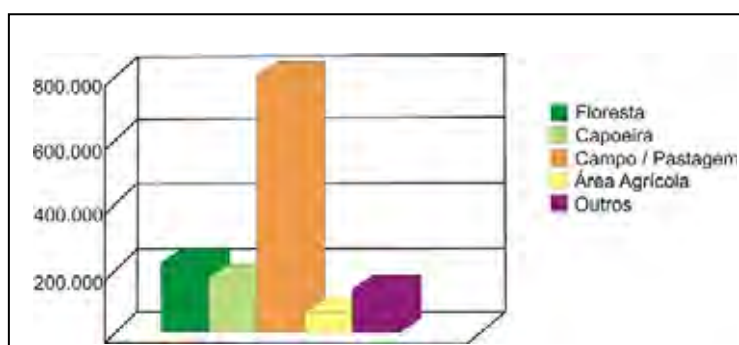


Figura 12: Vegetação e uso do solo na bacia do rio Paraíba do Sul (porção do estado de São Paulo).

Na Bacia do rio Paraíba do Sul há um razoável número de Unidades de Conservação (UC), embora metade ou mais dos remanescentes florestais não esteja protegida como U.C. Mesmo as áreas legalmente protegidas em Unidades de Conservação, na prática, não usufruem dessa condição. Em todas elas são comuns ações ilegais de extração de madeira, palmito e plantas ornamentais; de caça e pesca, além de queimadas e ocupações irregulares

(ANA, 2008). O **Quadro 13** registra as U.C., de âmbito municipal, estadual e federal, no trecho paulista da bacia do Paraíba do Sul.

Quadro 13: Unidades de Conservação da Bacia do Paraíba do Sul, no trecho paulista (ANA, 2008).

ESTAÇÕES ECOLÓGICAS			
NOME	LEGISLAÇÃO	ÁREA (ha)	MUNICÍPIO
Estação Ecológica de Bananal	Decreto Estadual nº 26.890 de 12/03/87	884	Bananal
ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (APA's)			
NOME	LEGISLAÇÃO	ÁREA (ha)	MUNICÍPIO
APA Silveiras	Lei Estadual e Municipal nº 4.100 de 20/06/84	42.700	Silveiras
APA Banhados de São José dos Campos	Lei Municipal nº 2.792 de 10/01/84	-	São José dos Campos
APA Roseira Velha	Lei Municipal nº 424 de 25/11/83	-	Roseira
APA Bananal	Lei Municipal nº 033 de 15/09/97	33.000	Bananal
PARQUES			
NOME	LEGISLAÇÃO	ÁREA (ha)	MUNICÍPIO
Parque Nacional da Serra da Bocaina	Decreto nº 68.172 de 04/02/71	120.000	São José do Barreiro e Cunha
Parque Estadual da Serra do Mar	Decreto nº 10.251 de 30/08/77	309.938	São Luís do Paraitinga, Cunha, Paraibuna e Natividade da Serra
ÁREAS DE RELEVANTE INTERESSE (ARIE)			
NOME	LEGISLAÇÃO	ÁREA (ha)	MUNICÍPIO
ARIE da Pedra Branca	Decreto SMA nº 26.720 de 06/02/87 e Lei nº 5.864 de 28/10/87	635.82	Tremembé
ÁREAS SOB PROTEÇÃO ESPECIAL			
NOME	LEGISLAÇÃO	ÁREA (ha)	MUNICÍPIO
ASPE de Roseira Velha	Resolução SMA de 06/03/87	84	Protege abrigos de espécies raras da fauna e da flora nativas, dentro da APA Municipal de Roseira Velha, na Fazenda Boa Vista

5.9. Processos e Comportamentos do Meio Físico

O **meio físico** é a base onde são desenvolvidos todas as atividades antrópicas e eventos perigosos. Trata-se da parcela do meio ambiente constituída pelos materiais rochosos e inconsolidados, as águas e o relevo que estão combinados e arranjados de diversas maneiras em espaços tridimensionais (ZUQUETTE, 1993). Pode ser entendido como o conjunto do meio ambiente definido pelas interações de componentes predominantemente abióticos, quais sejam, materiais terrestres (solo, rocha, água e ar) e tipos naturais de energia (gravitacional, solar, energia interna da Terra e outras), incluindo suas modificações decorrentes da ação biológica e humana (BITAR, 1995).

De acordo com Bitar (1990) os **processos do meio físico** consistem em uma série de fenômenos sucessivos com relação de causa e efeito, que resulta da interação de componentes materiais e tipos de energia, podendo ser deflagrado, acelerado ou retardado por agentes físicos, químicos e biológicos (fauna e flora) ou humanos, em determinado ambiente.

Os processos do meio físico são vários que, no conjunto, expressam a própria dinâmica do meio. Dentre eles pode-se citar: movimentos de massa (erosão, escorregamento, rastejo, subsidência, etc.), processos pedogenéticos, inundação, movimento da água em superfície, entre outros.

Na área de estudos, os principais processos do meio físico referem-se basicamente aos denominados movimentos de massa relacionados à rastejos, escorregamentos, erosões e assoreamento, além de inundações. Para o mapeamento da sensibilidade ambiental, os processos do meio físico não são levados em consideração, contudo a identificação dos mesmos é importante para a segurança dos dutos e prevenção de acidentes.

5.9.1. Rastejo

Os rastejos consistem no movimento descendente, lento e contínuo da massa de solo de um talude. 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 (CREPANI et al, 2001). Pode ser identificado através de indícios indiretos como “encurvamento” de árvores, deslocamento de muros e outras estruturas, pequenos abatimentos ou degraus na encosta (FORNASARI FILHO, 1992).

Nas encostas da Serra da Mantiqueira é freqüente a observação de feições de degraus, indicando a presença deste processo.

5.9.2. Escorregamento

Os escorregamentos consistem no movimento rápido de massas de solo ou rocha, com velocidades de metros por hora a metros por segundo, e de curta duração com planos de ruptura bem definidos entre o material escorregado e o não movimentado (CREPANI et al, 2001).

De acordo com Fornasari Filho (1992) podem-se identificar diferentes tipos de escorregamento em função de sua geometria e da natureza do material que instabilizam. Os tipos são: translacionais ou planares, circulares ou rotacionais e em cunha.

Na área de estudos, os escorregamentos (**Foto 01**) ocorrem seguindo duas direções preferenciais (NW – SE e NE-SW) que se cruzam quase que perpendicularmente. Estas direções apresentam alto mergulho, aproximadamente 85° e acompanham falhas e fraturas regionais (GUIMARÃES, 2006).



Foto 01: Cicatriz de escorregamento, com direção NW-SE, próximo a São José dos Campos.
Fonte: Guimarães (2006)

5.9.3. Erosão pela Água

Segundo Castro (1998) a erosão é o processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou fragmentos de rocha, pela ação da água.

Para este mesmo autor, a erosão pode ser **laminar** (aquela que ocorre quando o escoamento da água lava a superfície do terreno, de forma homogênea, transportando as partículas em suspensão, sem formar canais preferenciais) ou **linear** (aquela que ocorre quando o fluxo de água, arrastando partículas de solo, concentra-se em canais preferenciais e aprofunda, formando sulcos, originando ravinas, as quais podem evoluir para voçorocas)

A área de estudos apresenta grande incidência de processos erosivos, relacionados à composição das formações superficiais e às atividades antrópicas (**Foto 02**).



Foto 02: Feições erosivas na BR-116, próximo a São José dos Campos.

Para Guimarães (2006), há duas direções principais de fraturas (NE – SW e NW – SE), e quando a água percola por estas fraturas gera uma desagregação das partículas dos horizontes do solo, por turbilhonamento do fluido, no cruzamento das duas direções. Estes processos associam-se as descontinuidades nos perfis de alteração, sendo estas discordâncias tanto de caráter composicional, quanto textural do material no perfil.

5.9.4. Assoreamento

O Assoreamento vincula-se à alteração no processo de deposição de sedimentos ou partículas, em função da intensificação do processo erosão pela água.

Na área de estudos, os assoreamentos são acelerados pela intensa mineração com a extração de areia.

5.9.5. Inundação

Este processo corresponde ao extravasamento das águas de um curso d'água para as áreas marginais, quando a vazão a ser escoada é maior que a capacidade de descarga da calha. Está, normalmente, associado a enchentes ou cheias (acrécimo na descarga por certo período de tempo), assoreamento de canal, barramento ou remansos (FORNASARI FILHO, 1992).

Na área estudada, as inundações associam-se, principalmente, às planícies de inundação do Rio Paraíba do Sul.

6. CONDICIONANTES DO MEIO FÍSICO DE INTERESSE ÀS CARTAS DE SENSIBILIDADE AMBIENTAL PARA ÁREAS TERRESTRES

Com base no método proposto por Oliveira *et al* (2003) e em comparações com exemplos de cartas geológico-geotécnica, definiu-se os condicionantes do meio físico que podem contribuir na elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para áreas terrestres.

Os condicionantes definidos são:

- O tipo de relevo e suas formas;
- A declividade das encostas;
- Os tipos de drenagem e o fluxo superficial;
- Os tipos de solos e rochas e suas características (descontinuidades, porosidade, permeabilidade/infiltração, capacidade de recarga do aquífero e potencial de retenção do contaminante) e;
- O fluxo subterrâneo.

O escoamento do fluido, ou trajetória, é definido pela declividade das encostas e pelo tipo e formas de relevo. Os tipos de drenagem, o fluxo superficial e subsuperficial também auxiliam na definição do trajeto do contaminante. As outras características determinam o espalhamento e a permanência do fluido no meio.

A permeabilidade do substrato estabelece uma correlação direta com a infiltração, portanto, com a permanência do óleo no meio; quanto maior o diâmetro das partículas dos sedimentos do substrato, sua esfericidade e a sua uniformidade, tanto mais profunda será a

infiltração do contaminante. Associando-se estes fatores com a declividade e os fluxos da água (superfície e subsuperfície), maior a área atingida pelo óleo.

Além dos condicionantes acima citados, a dinâmica do meio físico também deve ser levada em consideração, uma vez que seus processos podem atingir os dutos e desencadear vazamentos. Outro fator importante a ser considerado são as características físico-químicas do material liberado e o seu comportamento de acordo com os materiais e as estruturas geológicas presentes na área em questão, bem como as possíveis interações entre as partículas do solo e o contaminante.

7. COMPARTIMENTAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DA ÁREA DE ESTUDOS

Este capítulo apresenta a compartimentação fisiográfica regional da área estudada, através de Unidades Básicas de Compartimentação e a Classificação Geológico-Geotécnica de cada UBC, incluindo uma análise, em relação à permeabilidade/infiltração, capacidade de recarga dos aquíferos e vulnerabilidade a contaminação dos aquíferos.

A compartimentação seguiu os princípios de análise de terreno, dividindo-se a região em sete unidades (UBCs) aparentemente “homogêneas” (para a escala utilizada - 1:50.000) quanto às características dos elementos componentes do meio físico. Para cada UBC, definiram-se propriedades e características dos materiais (solos, rochas, sedimentos), dos tipos de relevo, perfis de alteração e processos existentes, gerando a carta geológico-geotécnica.

Cada Unidade Básica de Compartimentação corresponde a uma unidade geológicogeotécnica, desta forma, como foram delimitadas sete UBCs, há sete unidades geológicogeotécnicas na região do oleoduto “Guararema – São José dos Campos”.

A seguir apresenta-se um panorama geral da área e a descrição de cada Unidade Geológico-Geotécnica ou UBC delimitada. Já a Carta Geológico-Geotécnica pode ser visualizada no Apêndice A.

7.1. Unidades Geológico-Geotécnicas

A área estudada insere-se na zona do Médio Vale do Paraíba, caracterizada por áreas de Planícies Fluviais (relevo suave aplainado), áreas de Colinas Sedimentares (relevo suave) e áreas de Morros Cristalinos (relevo íngreme, com topos extensos e vales em “V”). Apresenta rochas Pré-Cambrianas como gnaisses e xistos que sustentam as áreas de Morros Cristalinos e rochas sedimentares da Bacia de Taubaté como arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados.

Os materiais inconsolidados da região são, de forma geral, arenosos (quando a rocha matriz foi um arenito ou gnaiss) e argilosos a argilo-arenosos (quando a rocha matriz foi um argilito, siltito ou xistos).

A região apresenta-se fraturada a muito fraturada, cujas discontinuidades podem ser atribuídas ao sistema de fraturamento da região (Bloco Tectônico Paraíba do Sul do ciclo Brasileiro, reativado no Terciário), além de juntas de alívio das rochas.

Em termos gerais, a área possui boa capacidade de recarga dos aquíferos (Taubaté e Cristalino) e, conseqüentemente, alta vulnerabilidade a contaminações, sejam elas por derrames de petróleo ou outro tipo de substância que minimize a qualidade das águas subterrâneas.

Outra característica relevante desta região é a presença do principal curso d'água da área (Rio Paraíba do Sul), que abastece toda a região do Vale do Paraíba, parte de Minas Gerais e Rio de Janeiro. Além da presença de represas como Putins e Santa Branca, áreas urbanas, vegetação de pequeno a médio porte e plantações de arroz.

Os processos do meio físico presentes na área referem-se a inundações associadas às planícies do Rio Paraíba do Sul, erosões, assoreamentos e escorregamentos.

7.1.1 - Unidades em Planícies Fluviais

7.1.1.1 - Unidade 1 – Planícies Fluviais

A Unidade 1 (Planícies Aluvionares) encontra-se na região de planícies aluvionares da Bacia de Taubaté e dos Morros Cristalinos, representando os depósitos Quaternários e as planícies de inundação do Rio Paraíba do Sul.

Caracteriza-se por ser uma unidade com relevos suaves, aplainados e declividade da ordem de 2°. A densidade de drenagem é baixa, com padrão meandrante com a presença de meandros abandonados.

Esta Unidade constitui-se de solos e sedimentos aluvionares, arenoso com presença de seixos (**Foto 3**) e porções argilosas. Os materiais apresentam-se, de forma geral, porosos e de cor cinza que varia do claro ao escuro. Em termos pedológicos o solo é classificado como gleissolo (solos hidromórficos pouco profundos). A **Figura 13** mostra um modelo do perfil de alteração esperado para esta unidade.



Foto 03: Detalhe do material presente na Unidade 1

A Baixa densidade de drenagem associado ao material arenoso poroso, caracteriza um baixo escoamento superficial e elevada taxa de infiltração no terreno. Desta forma, possui boa capacidade de recarga dos aquíferos e, conseqüentemente, alta vulnerabilidade a contaminações, sejam elas por derrames de petróleo ou outro tipo de substância que minimize a qualidade das águas subterrâneas.

Nesta Unidade destaca-se a presença do Rio Paraíba do Sul (principal curso d'água da região), área urbana, vegetação de pequeno porte e plantações de arroz.

O processo do meio físico presente refere-se a inundações associadas às planícies do Rio Paraíba do Sul.

Mediante a todas as características observadas nesta unidade, principalmente a permeabilidade e a vulnerabilidade dos aquíferos, associadas a regiões de acúmulo de água e presença de brejos, pode-se relacioná-la a sensibilidade alta.

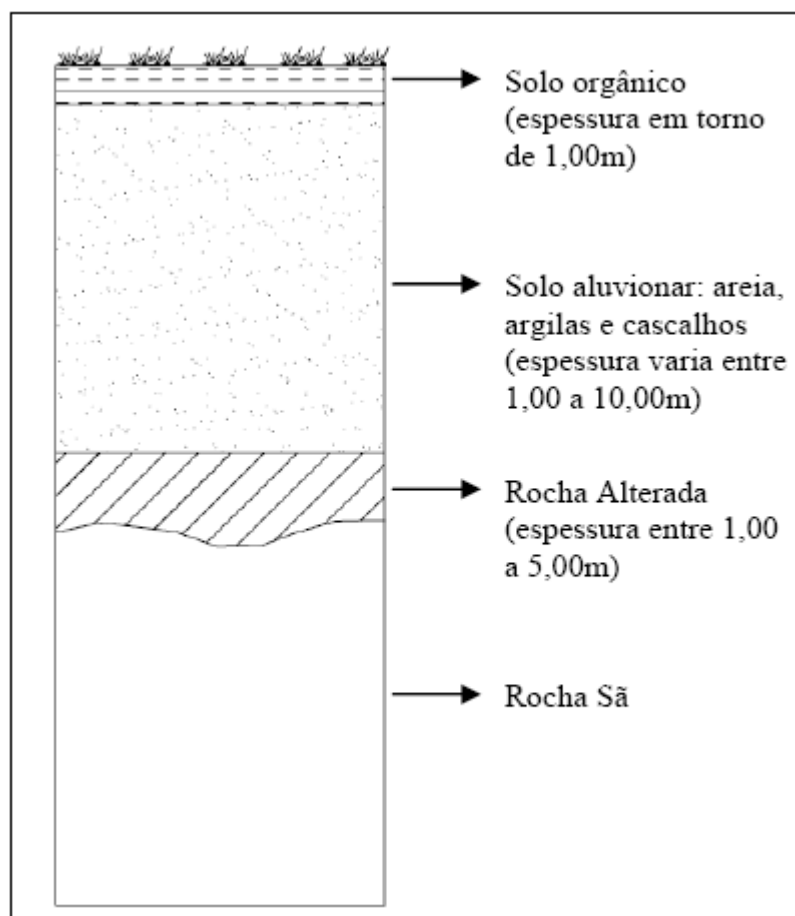


Figura 13: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 1.

7.1.2 - Unidades em Colinas Sedimentares

7.1.2.1 Unidade 2 – Arenitos Maciços em Colinas Sedimentares

A Unidade 2, pertencente à região de colinas sedimentares. Apresenta relevo suave, ondulado com topos arredondados e baixa declividade, variando em torno de 10° a 30° (**Foto 4**). Possui densidade de drenagem baixa, padrão sub-dendrítico, com algumas drenagens encaixadas em sistemas de fraturas.

Esta Unidade constitui-se de arenitos médios a grossos, maciços, com níveis conglomeráticos (**Fotos 5 e 6**), provavelmente representando a Formação Resende. As cores destes materiais variam de amarelada a avermelhada. Apresenta solos coluvionares e residuais residual arenosos com pedregulhos e cascalhos ou, de acordo com a classificação pedológica, são areias quartzosas. A **Figura 14** mostra um modelo do perfil de alteração, esperado para esta unidade.

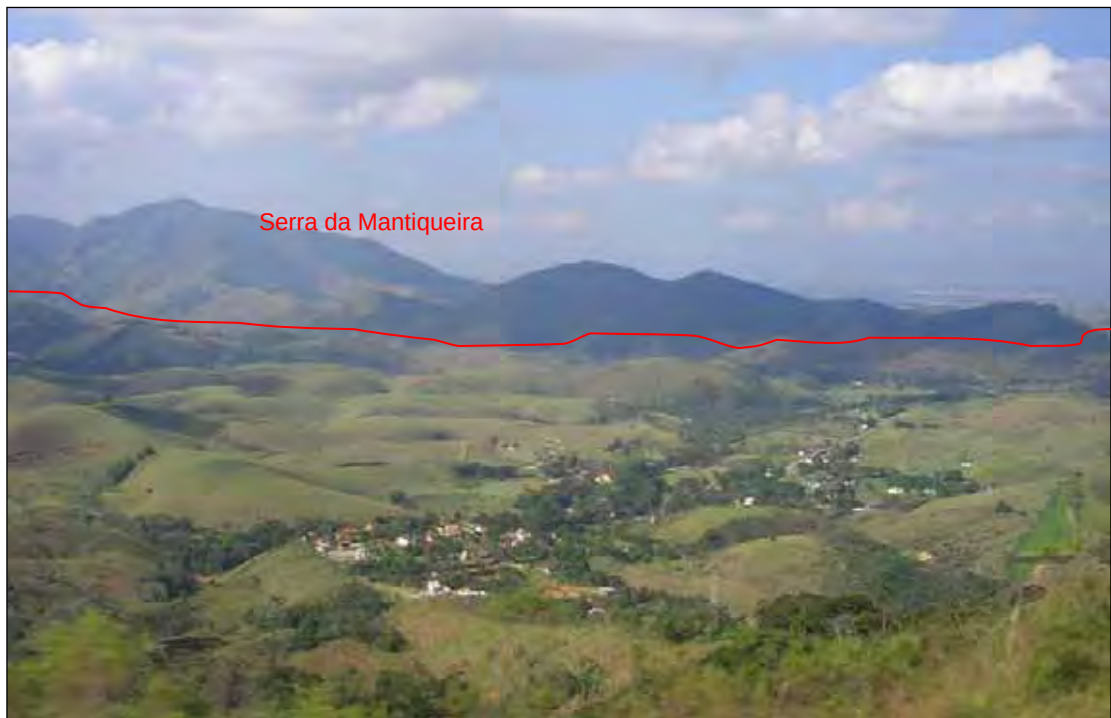


Foto 4: Visão geral do relevo da UBC 2. Notar divisão (linha vermelha) e diferença de relevo entre Morros Cristalinos, representados pela Serra da Mantiqueira (ao fundo) e relevo suave da UBC 2 (Colinas Sedimentares)



Foto 5: Arenito maciço, com níveis conglomeráticos.



Foto 6: Arenito com níveis conglomeráticos. Notar feições erosivas.

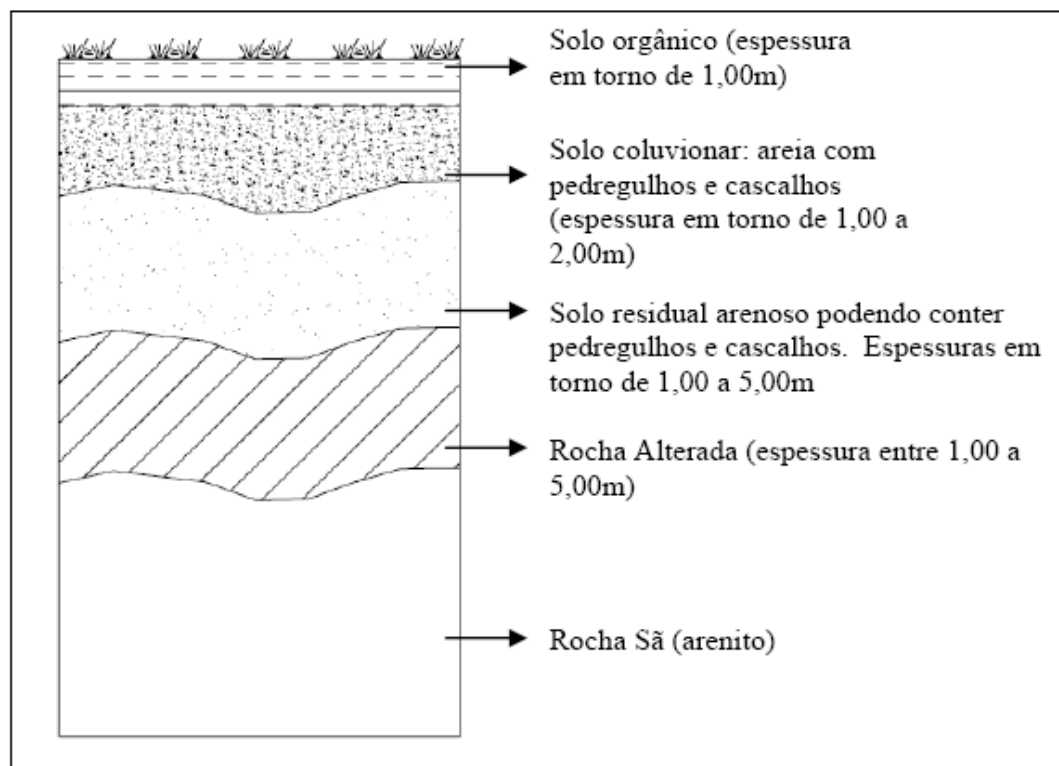


Figura 14: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 2.

Os materiais são porosos e permeáveis, cuja permeabilidade é função da baixa densidade de drenagem, caracterizando o baixo escoamento superficial e elevada taxa de infiltração no terreno. Assim, possui boa capacidade de recarga do aquífero Taubaté e, conseqüentemente, alta vulnerabilidade a contaminações, sejam elas por derrames de petróleo ou outro tipo de substância que reduza a qualidade das águas subterrâneas.

A área é urbanizada com vegetação de pequeno porte, predominado áreas de pasto. Com relação a processos do meio físico, verificou-se a presença de erosões (**Foto 6**) que em alguns locais expõe o embasamento cristalino (**Foto 7**).



Foto 07: Detalhe do fundo de uma erosão na área da foto anterior. Observar a exposição de gnaiss do embasamento.

Da mesma forma que a Unidade 1, pode-se correlacionar esta unidade a sensibilidade alta; em função de todas as características observadas, principalmente a elevada permeabilidade dos materiais e vulnerabilidade dos aquíferos.

7.1.2.2 Unidade 3 – Siltitos e Arenitos Finos em Colinas Sedimentares

A Unidade 3, assim como a unidade anterior, também pertencente à região de colinas sedimentares da Bacia de Taubaté. Apresenta relevo suave, ondulado com topos arredondados e baixa declividade, variando em torno de 30° (**Foto 8**). A densidade de drenagem é moderada, padrão sub-dendrítico, com algumas drenagens encaixadas em sistemas de fraturas.

Esta Unidade constitui-se de siltitos e arenitos finos, que, provavelmente, representam a Formação Pindamonhangaba. O material de cobertura é coluvionar e residual, siltoso, pouco arenoso, com cores que variam de amarelada a avermelhada (**Foto 9**). Segundo a pedologia, estes solos podem ser classificados como latossolos. A **Figura 15** mostra um modelo do perfil de alteração, esperado para esta unidade.

Os materiais são porosos, porém moderados a pouco permeáveis. A permeabilidade é função da moderada densidade de drenagem, caracterizando o moderado a elevado escoamento superficial e moderada taxa de infiltração no terreno. Assim, esta Unidade possui moderada capacidade de recarga do aquífero Taubaté e, conseqüentemente, moderada vulnerabilidade a contaminações.

A Unidade 3 possui área urbana com vegetação de pequeno porte, predominado áreas de pasto. Com relação a processos do meio físico, verificou-se a presença de erosões (**Foto 9**).

Para esta unidade, associa-se sensibilidade moderada, devido as características observadas.



Foto 8: Visão geral do relevo da UBC 3 (colinas sedimentares). Notar a semelhança com o relevo da UBC 2, incluindo, ao fundo (porção com neblina), região de Morros Cristalinos da Serra da Mantiqueira.

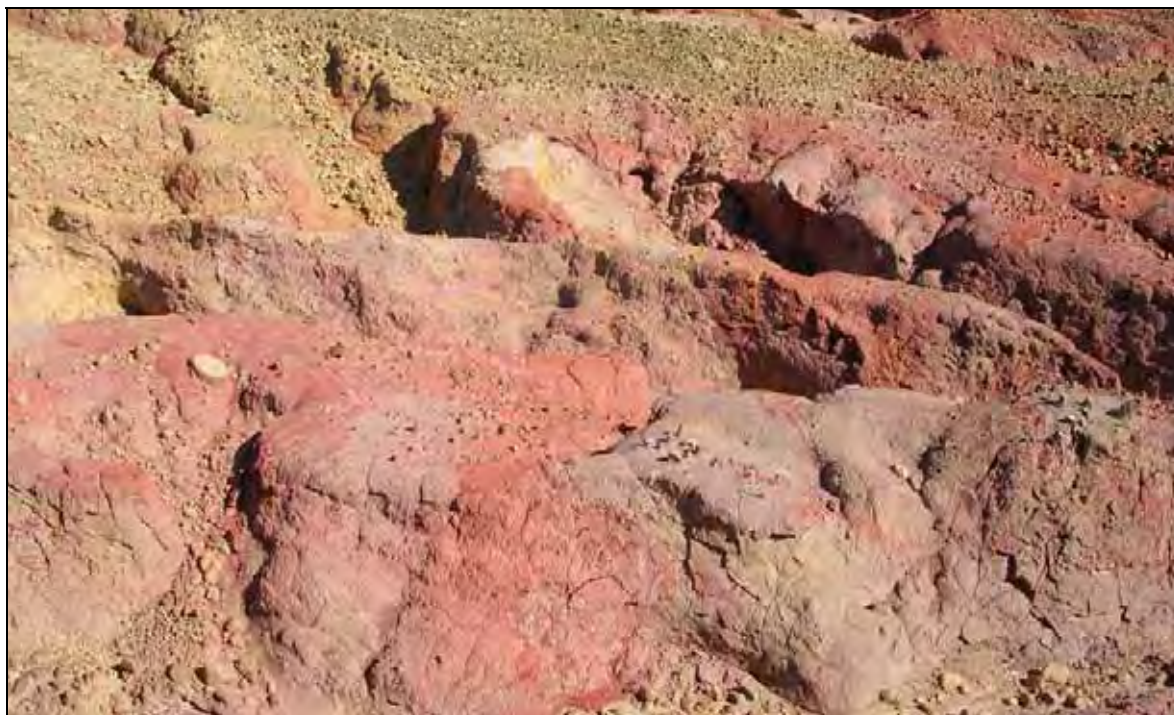


Foto 9: Material argiloso presente na UBC 3. Notar presença de feições erosivas.

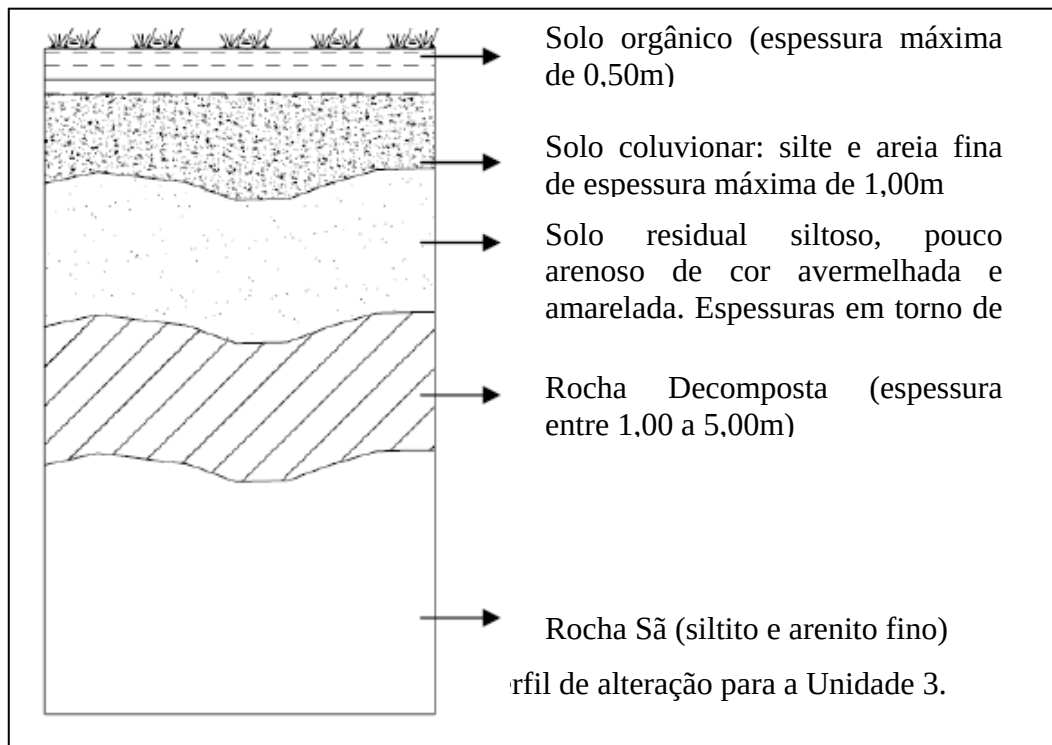


Figura 15: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 3.

7.1.3 - Unidades em Morros Cristalinos

7.1.3.1 - Unidade 4 – Gnaisses dos Morros Cristalinos

A Unidade 4 encontra-se na região de Morros Cristalinos, que circundam a Bacia de Taubaté. Caracteriza-se por ser uma Unidade com formas de relevo e drenagens muito a moderadamente orientadas, topos extensos, côncavo-convexo e vales em “V”. A declividade das encostas é moderada, com ângulos superiores a 40°.

Apresenta drenagens encaixadas nas fraturas, densidade alta e padrão sub-dendrítico a retilíneo. A área é muito fraturada, com mais de 50% dos elementos de drenagens sendo traços de fraturas. As rochas são resistentes à erosão, cuja velocidade de intemperismo é menor que a velocidade de remoção de material.

Esta Unidade constitui-se de solos coluvionares areno-argilosos, solos residuais e saprolitos de gnaisses, areno-siltosos, de cor que varia de esbranquiçada a amarelada e com pontos avermelhados (**Foto 10**). Segundo a Classificação Pedológica (IAC, 1999), os solos são classificados como Podzólicos Vermelho-Amarelo. A **Figura 16** mostra um modelo do perfil de alteração, esperado para esta unidade.

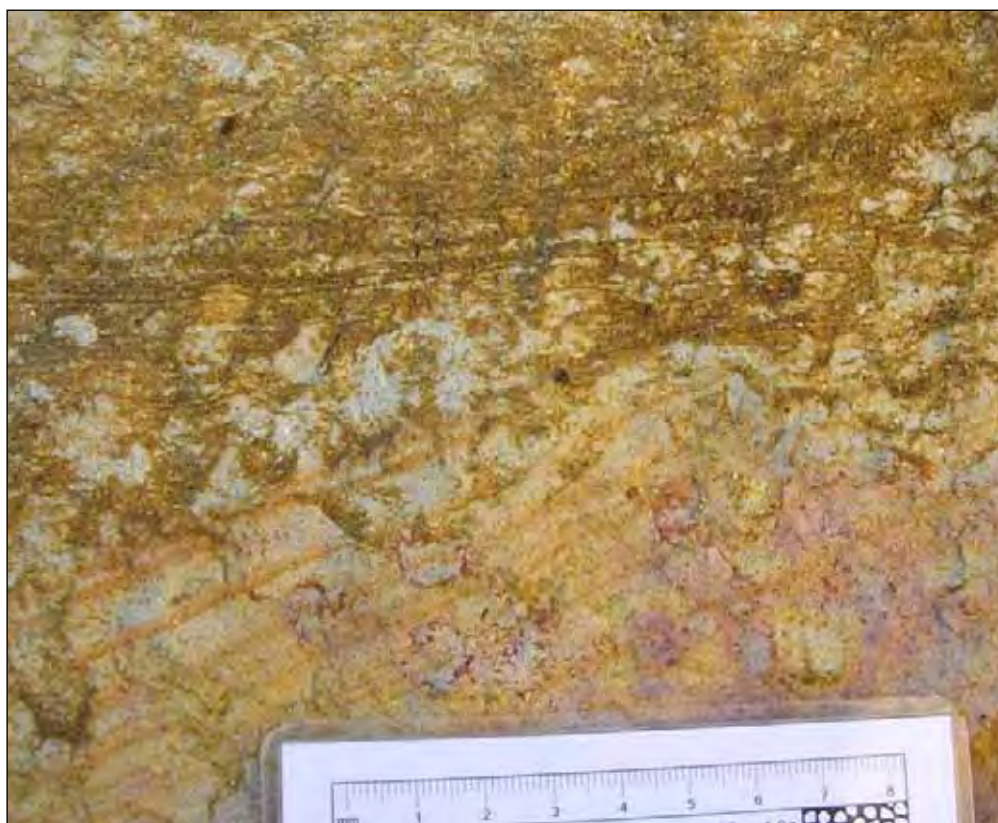


Foto 10: Saprolito de Gnaiss, presente na UBC 4.

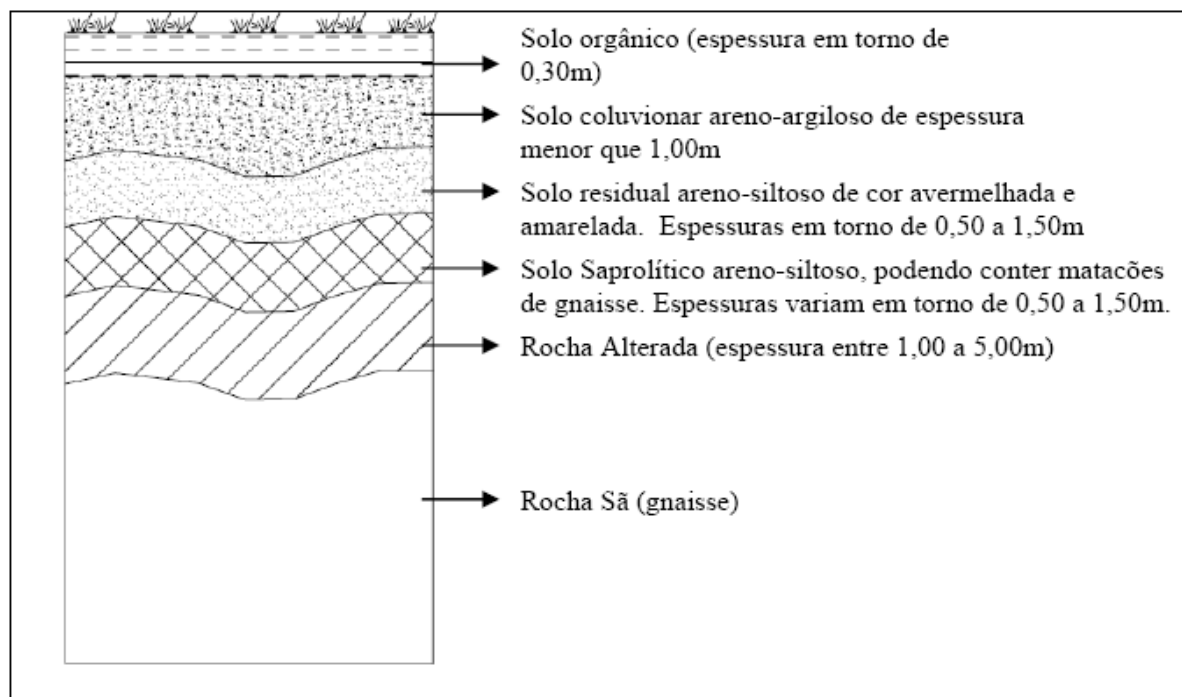


Figura 16: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 4.

A permeabilidade dos materiais é baixa devido à grande quantidade de drenagens o que caracteriza um elevado escoamento superficial. Entretanto pode ocorrer infiltração pelos espaços entre as fraturas nos trechos muito fraturados do maciço. De modo geral a área apresenta baixa a média capacidade de recarga do aquífero fraturado e, conseqüentemente, baixa vulnerabilidade de contaminação das águas subterrâneas.

Outras características presentes na unidade são: presença de pequenas áreas urbanas, presença da represa dos Putins e parte da Represa de Santa Branca e vegetação secundária de pequeno a médio porte. Com relação aos processos do meio físico, verificou-se: rastejo, erosão e escorregamento (**Foto 11**).

Com relação à sensibilidade, classifica-se esta unidade como baixa sensibilidade



Foto 11: Cicatriz de escorregamento presente na UBC 4.

7.1.3.2 Unidade 5 – Xistos dos Morros Cristalinos

A Unidade 5 encontra-se na região de Morros Cristalinos que circundam a Bacia de Taubaté. As formas de relevo e drenagem são orientadas a pouco orientadas, podendo representar a xistosidade das rochas. Os topos são extensos, côncavo-convexo e os vales são em “V”. A declividade das encostas é alta com ângulos na casa dos 40°.

Caracteriza-se pelas drenagens encaixadas nas fraturas, densidade alta e padrão subdendrítico. A área é muito fraturada, com mais de 50% dos elementos de drenagens sendo traços de fraturas. As rochas são pouco resistentes à erosão, cuja velocidade de intemperismo é aproximadamente igual à velocidade de remoção de material.

Esta Unidade constitui-se de xistos (**Foto 12**) e solos residuais e saprolitos de xistos, argilosos, podendo conter areia fina. Segundo a Classificação Pedológica (IAC, 1999), os solos são classificados como Argissolos. A cor é avermelhada, podendo apresentar trechos amarelados quando intercalados com outros materiais (**Foto 13**), como por exemplo, intercalações de rochas calciossilicáticas de alteração argilosa. A **Figura 17** mostra um modelo do perfil de alteração, esperado para esta unidade.



Foto 12: Amostra de xisto presente na UBC 5.



Foto 13: Saprolito de xisto (porção avermelhada) e possivelmente solo residual de rochas calciossilicáticas (porção amarelada) presente na Unidade 5.

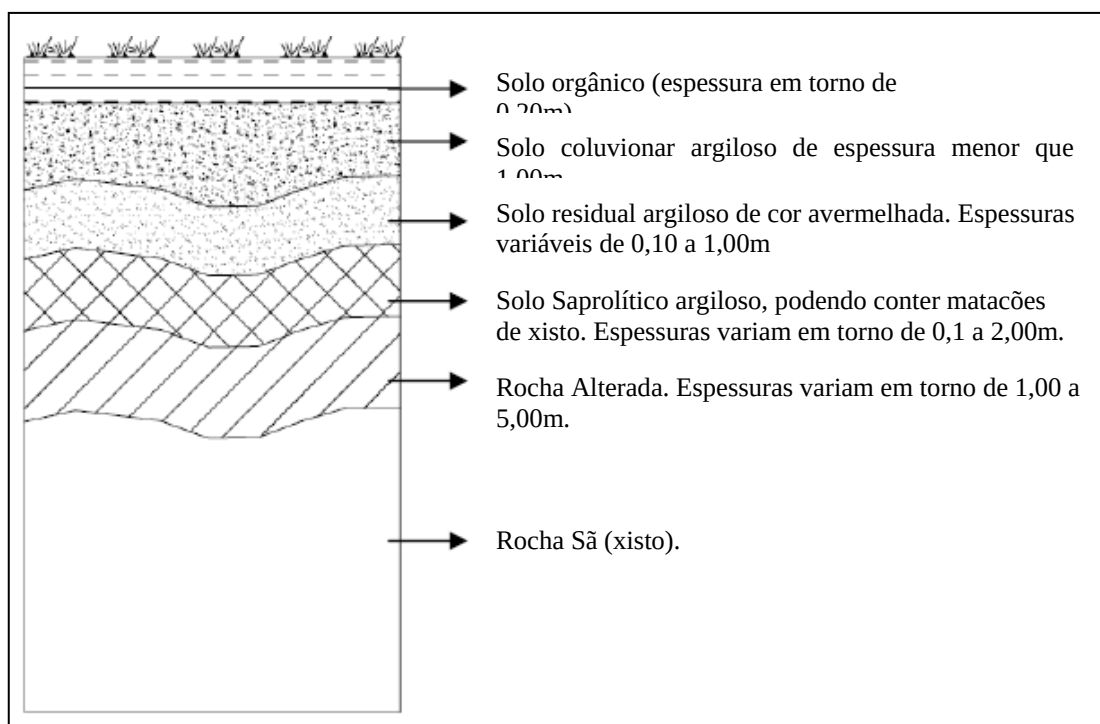


Figura 17: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 5.

A permeabilidade é baixa devido à grande quantidade de drenagens o que caracteriza um elevado escoamento superficial. Entretanto pode ocorrer infiltração pelos espaços entre as fraturas nos trechos muito fraturados do maciço e, às vezes pelos próprios planos de xistosidade. A área apresenta baixa capacidade de recarga do aquífero fraturado e, conseqüentemente, baixa vulnerabilidade a contaminações, sejam elas por derrames de petróleo ou outro tipo de substância que diminua a qualidade das águas subterrâneas.

A área possui presença de pequenas áreas urbanas e vegetação secundária de pequeno a médio porte. Com relação aos processos do meio físico presentes, verificou-se: rastejo, erosão e escorregamento. Com relação à sensibilidade, classifica-se esta unidade como baixa sensibilidade

7.1.3.3. Unidade 6 – Gnaisses “2” dos Morros Cristalinos

A Unidade 6 localiza-se na região de Morros Cristalinos e possui formas de relevo e drenagem pouco orientada, com topos extensos côncavo-convexo e os vales são em “V”. A declividade das encostas é alta com ângulos em torno de 40°. Caracteriza-se pelas drenagens encaixadas nas fraturas, densidade alta e padrão sub-dendrítico.

Esta Unidade é muito fraturada, com mais de 50% dos elementos de drenagens sendo traços de fraturas. As rochas são pouco resistentes à erosão, cuja velocidade de intemperismo é aproximadamente igual à velocidade de remoção de material.

Nesta Unidade observaram-se solos coluvionares areno-argilosos e solos residuais e saprolíticos siltosos a silto-arenosos, de cor amarelada, proveniente de rochas gnássicas. Segundo a Classificação Pedológica (IAC, 1999), os solos são classificados como Podzólicos. A **Figura 18** mostra um modelo do perfil de alteração, esperado para esta unidade.

Esta Unidade caracteriza-se pela presença da Represa de Santa Branca (**Foto 14**), a qual é utilizada como área de lazer; além de vegetação de pequeno a médio porte e processos erosivos das margens da represa.



Foto 14: Represa de Santa Branca. Ao Fundo, relevo que circunda a Represa, representado por Morros Cristalinos.

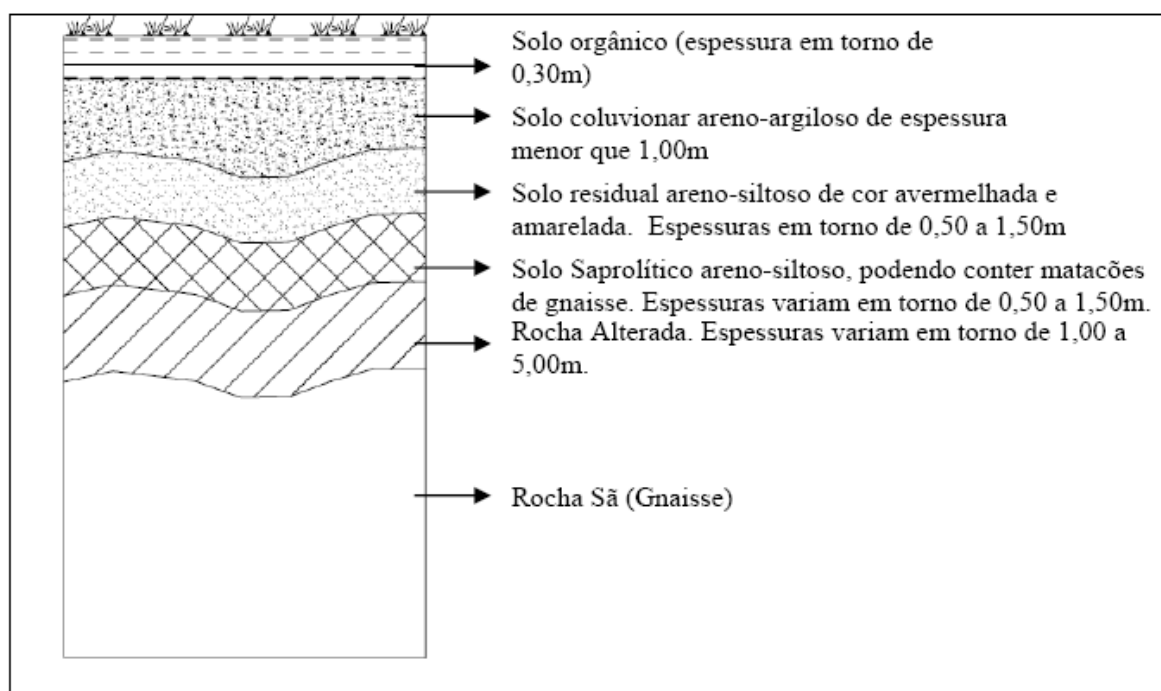


Figura 18: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 6.

A permeabilidade é baixa devido à grande quantidade de drenagens o que caracteriza um elevado escoamento superficial. Entretanto pode ocorrer infiltração pelos espaços entre as fraturas nos trechos muito fraturados do maciço. A área apresenta baixa a média capacidade de recarga do aquífero fraturado e, conseqüentemente, baixa a média vulnerabilidade a contaminações a qualquer tipo de substância que minimize a qualidade das águas subterrâneas. Nesta área, não só o aquífero é vulnerável, mas a própria Represa de Santa Branca.

Para esta unidade, classifica-a como de baixa sensibilidade, devido as suas características.

7.1.3.4. Unidade 7 – Gnaisses Finos dos Morros Cristalinos

A Unidade 7 apresenta-se na região de Morros Cristalinos e possui formas de relevo e drenagem orientados, com topos extensos, côncavo-convexos e vales em “V”. A declividade das encostas é alta, com ângulos em torno dos 40° a 50°.

As drenagens são encaixadas nas fraturas, densidade alta e padrão dendrítico a retilíneo. A área é muito fraturada, com mais de 50% dos elementos de drenagens sendo traços de fraturas. As rochas são muito resistentes à erosão, cuja velocidade de intemperismo é menor que a capacidade de erosão.

Esta Unidade constitui-se de solos residuais e saprolitos de gnaisses finos, arenosiltosos a areno-argilosos, de cor que varia de esbranquiçada, amarelada e avermelhada. Segundo a Classificação Pedológica (IAC, 1999), os solos são classificados como Podzólicos Vermelho-Amarelo.

Apresenta permeabilidade baixa devido à grande quantidade de drenagens, caracterizando um elevado escoamento superficial e baixa infiltração. Contudo pode haver infiltração pelos espaços entre as fraturas nos trechos muito fraturados do maciço. A área apresenta baixa capacidade de recarga do aquífero fraturado e, conseqüentemente, baixa vulnerabilidade a contaminações por qualquer tipo de substância que reduza a qualidade das águas subterrâneas. Caracteriza-se a área como de baixa sensibilidade.

Outras características são: presença de vegetação secundária de pequeno a médio porte e processos do meio físico como erosão e escorregamento.

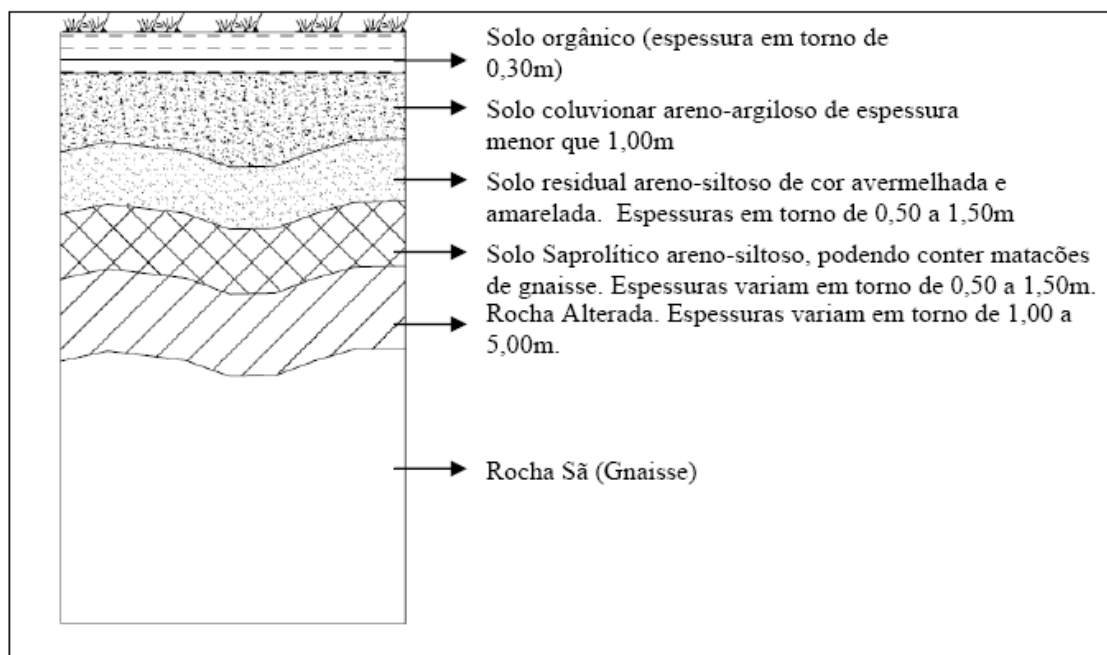


Figura 19: Modelo do perfil de alteração para a Unidade 7.

8. CONCLUSÕES

Os dutos são obras lineares peculiares quanto ao aspecto longitudinal, pois interceptam diferentes formações geológicas, com os tipos de solos e condições hidrogeológicas e fenomenológicas a elas associados. Podem, ainda, atravessar várias cidades, propriedades rurais, estradas, diversas bacias hidrográficas e extensas áreas de recarga.

Esta peculiaridade dos dutos aumenta a variedade de combinações possíveis entre os inúmeros tipos de solos, rochas, relevos, etc. e não permite definir, de forma simples, uma hierarquia de paisagens, como nas áreas costeiras e, ainda, identificar iconograficamente os índices de vulnerabilidade e sensibilidade. Desta forma, as cartas de sensibilidade ambiental para áreas continentais deveriam ser elaboradas de acordo com cada área estudada, seguindo um método geral (que pode ser aplicado em qualquer terreno), como é o caso do método proposto por Oliveira et al (2003).

Com a aplicação do método de Unidades Básicas de Compartimentação proposto por Vedovello (2000), obteve-se uma carta geológico-geotécnica de escala regional (1:50.000) contendo os condicionantes do meio físico que podem subsidiar a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo (Apêndice A).

O tipo de relevo e suas formas, a declividade das encostas, o tipo de drenagem, o fluxo superficial, os tipos de solos e rochas e suas características (descontinuidades, porosidade, permeabilidade/infiltração, capacidade de recarga do aquífero e potencial de retenção do contaminante) e o fluxo subterrâneo são os condicionantes do meio físico que devem estar presentes em uma carta de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo, em ambiente continental.

Considerando-se as informações contidas na carta geológico-geotécnica gerada (condicionantes e processos do meio físico), conclui-se que as informações das cartas geológico-geotécnicas podem ser as mesmas utilizadas na elaboração das cartas de sensibilidade ambiental. Desta forma, as cartas geológico-geotécnicas podem subsidiar a elaboração das Cartas SAO para áreas terrestres. Outro fator importante a ser considerado são as características físico-químicas do material liberado e o seu comportamento de acordo com os materiais e as estruturas geológicas presentes na área em questão, bem como as possíveis interações entre as partículas do solo e o contaminante.

A compartimentação do terreno seguiu os princípios de análise de terreno, dividindo-se a região em sete unidades (UBC's) aparentemente "homogêneas" (para a escala utilizada - 1:50.000) quanto às características dos elementos componentes do meio físico, que implicam em um determinado comportamento geotécnico frente às ações e atividades antrópicas.

O método de compartimentação de terreno adotado nesta pesquisa é um procedimento utilizado para a elaboração de cartas geológico-geotécnicas, o qual se baseia na interpretação de produtos de sensoriamento remoto (imagens orbitais e fotografias aéreas) e no princípio de análise de terreno. O procedimento compreende etapas de compartimentação fisiográfica, caracterização geotécnica e cartografia geológico-geotécnica final.

Este método trouxe grande contribuição à pesquisa em termos de custos, tempo e aplicabilidade, pois não requer uma multiplicidade de produtos (mapa geomorfológico, pedológico, geológico, etc.) que são cruzados diretamente ou em associações específicas, sucessivas, por vezes com atribuições e pesos, até chegar a um mapa final. O método apresenta uma análise integrada dos elementos ambientais (relevo, solo, rocha, etc.), os quais são individualizados em unidades únicas que refletem limites concretos no espaço, gerando um mapa final.

Com a aplicação do método de compartimentação de terreno proposto por Vedovello (2000), obteve-se uma carta geológico-geotécnica contendo sete unidades geotécnicas. Uma unidade encontra-se na região de planícies fluviais (Unidade 1 – Planícies Fluviais), duas na região de colinas sedimentares (, Unidade 2 – Arenitos Maciços em Colinas Sedimentares e Unidade 3 – Siltitos e Arenitos Finos em Colinas Sedimentares) e quatro na região de morros cristalinos (Unidade 4 – Gnaisses dos Morros Cristalinos, Unidade 5 – Xistos dos Morros Cristalinos, Unidade 6 – Gnaisses "2" dos Morros Cristalinos e, Unidade 7 – Gnaisses Finos dos Morros Cristalinos).

A unidade em planícies fluviais é uma unidade geotécnica caracterizada por sedimentos aluvionares arenosos com seixo e porções argilosas, da planície de inundação do

rio Paraíba do Sul. Esta unidade apresenta boa capacidade de recarga do aquífero e, conseqüentemente alta vulnerabilidade a contaminações, sendo classificada como de alta sensibilidade.

As Unidades em colinas sedimentares (2 e 3), caracterizam-se por rochas sedimentares arenosas e siltosas. A Unidade 2 apresenta boa capacidade de recarga do aquífero e, conseqüentemente alta vulnerabilidade a contaminações, sendo classificada como de alta sensibilidade. Já a unidade 3 apresenta baixa a moderada capacidade de recarga do aquífero e, moderada vulnerabilidade a contaminações, sendo classificada como de moderada sensibilidade.

As Unidades em morros cristalinos (4, 5, 6 e 7) caracterizam-se por rochas metamórficas (gnaisses e xistos). Apresentam baixa capacidade de recarga do aquífero cristalino e, conseqüentemente baixa vulnerabilidade a contaminações, sendo classificada como de baixa sensibilidade.

Estas Unidades foram delimitadas sobre imagens GeoCover Landsat TM e Imagens SRTM. As imagens GeoCover resultam da fusão da banda 8 com as bandas 7, 4 e 2 (RGB), propiciando uma resolução espacial de 14,25m. A opção por produtos desses sensores se deve ao fato de que, atualmente, os produtos TM-Landsat e SRTM apresentam um acervo de imagens disponíveis com facilidade de aquisição, em relação aos outros produtos (SPOT, IKONOS, etc.). Além de que tais produtos apresentam boas condições para as interpretações previstas, principalmente para a escala de nível regional.

Com relação à escala de mapeamento utilizada, considera-se que seja compatível com o fim proposto, pois além de englobar a trajetória do contaminante, foi possível definir as características do meio em o produto entraria em contato. É lógico que quanto maior o detalhe, maior é o número de Unidades Básicas de Compartimentação e mais preciso é o mapeamento das unidades e de suas características. Contudo, a nível acadêmico, nem sempre é possível a aquisição de materiais de nível melhor, devido ao seu elevado custo e a dificuldade de se obter recursos financeiros.

O método proposto por Oliveira et al (2003) apresenta procedimentos para a elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para áreas terrestres. Este método, juntamente com exemplos de cartas geológico-geotécnicas, trouxe grande contribuição à pesquisa em termos de determinação dos condicionantes do meio físico que poderão auxiliar na elaboração das cartas SAO, seguindo os parâmetros: trajetória, espalhamento e permanência do contaminante.

9. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. de; 1974. **Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista**. Bol. Inst. Geogr. Geol., São Paulo, v 41.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS - ANA (2008). **Sistema de Gestão Integrada da Bacia do Rio Paraíba do Sul**: Bacia do Paraíba do Sul – Uso e ocupação do solo. Disponível em: <http://pbs.ana.gov.br/pbs0800/index.asp?op=gotodir&vdir=\> Acesso em 10/03/2008

API e NOAA (1994) – American Petroleum Institute e National Oceanic Atmospheric Administration (Hazardous Materials Response e Assessment Division). Options for Minimizing Environmental Impacts of Freshwater Spill Response. 135p.

ARAÚJO S. I.; SILVA, G. H.; MUEHE, D. C. E. H. **Manual Básico para a elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Óleo no Sistema Petrobrás**: ambientes Costeiros e Estuarinos. Petrobrás, Cenpes, Rio de Janeiro, 2002. 134p.

ART, H. W. **Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais**, 2. ed. São Paulo: Melhoramentos, 2001.

AZEVEDO, A. A.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. 1998. **Águas Subterrâneas** In: Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A.; *Geologia de Engenharia*. ABGE, pp. 111-130

BITAR, O. Y.; 1990 **O Meio Físico em estudos de impacto ambiental**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 270 pp

BITAR, O. Y. 1995. **Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: ABGE. IPT, 247p.

CARDINALI, M. T. 2004. **Método da eletrorresistividade aplicado em estudos de contaminação de solo e águas subterrâneas por hidrocarbonetos**. Monografia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade de São Paulo, Rio Claro

CARNEIRO, C. D. R.; HASUI, Y.; GIANCURSI, F. D.; Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos. **Anais** do 29º Congresso Brasileiro de Geologia. p. 247 a 256. v. 4

CASTRO, A. F.; SOUZA, C. F.; AMARO V. E.; VITAL, H. 2005. Automação de cartas de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo utilizando técnicas de geoprocessamento em áreas costeiras da porção setentrional do estado do Rio Grande do Norte. *Anais In: SBSR. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Anais.*, p. 2109 - 2111

CASTRO, A. L. C. 1 (Coord) **Glossário de Defesa Civil, Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. Ministério Do Planejamento e Orçamento Secretaria Especial de Políticas Regionais Departamento de Defesa Civil. 2ª edição. Brasília, 1998

CEPA. Petróleo. Disponível em <http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo1A/indice.html> Acesso em: 05/03/2008

CERRI, L. E. S.; AMARAL, C. P. 1998. **Riscos Geológicos**. In: Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A.; *Geologia de Engenharia*, São Paulo: ABGE, p. 301 – 310

CETESB, 2008a. **Emergências Químicas: Derrames de óleo/Estatísticas** Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/estatisticas/estatisticas.pdf> acesso em: 15/01/2009

CETESB, 2008b. **Emergências Químicas: Aspectos físicos e químicos**. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/oleo/a_fisicos.asp. Acesso em: 05/03/2008

CETESB, 2008c. **Emergências Químicas: Intemperismo**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/oleo/intemperismo.asp> Acesso em: 05/03/2008

CETESB, 2008d. **Emergências Químicas: Intemperismo**. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/oleo/a_toxicologicos.asp Acesso em 05/03/2008

COLTRINARI, L. **Evolução Geomorfológica do Planalto de São Jose dos Campos (SP)**. São Paulo: USP, 2003. (Tese de livre-docência em Geografia). Faculdade de Filosofia, letras e Ciências humanas.

COMISSÃO TÉCNICA DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL – CTCG. 2004. Diagnóstico Preliminar da Cartografia Geotécnica e Geoambiental no Brasil. In: SCGG. Simpósio de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 5. 20p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao estudo de movimentos de massa no município de Caraguatatuba – SP. In: *Anais do X SBSR. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Foz do Iguaçu, 2001. p. 931-933.

DERSA (2008). **Rodovias**. Disponível em: <http://www.dersa.com.br/rodovias/default.asp>. Acesso em: 23/04/2008

DIAS, NELSON W. DINIZ, HÉLIO N. BATISTA, GETULIO T. TARGA, MARCELO S. 2004 Caracterização do Potencial Hidrogeológico e Histórico da Utilização das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo. Repositório Eletrônico do departamento de ciencias agrárias da UNITAU. Disponível em <http://agro.unitau.br:8080/dspace/handle/2315/60> Acesso em 17/04/2008 - arquivo em pdf.

DINIS, D. C. **Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental.** Tese de doutorado. Escola politécnica da USP. São Paulo, 1998.

FERNANDES, A. J.; FIGUEIREDO, M. C. H. O complexo Embu no leste do estado de São Paulo: limites e evolução geológica. **Anais** do 36º Congresso Brasileiro de Geologia. Natal, 1990. v.6, p. 2755 a 2763

FERREIRA, J.; ZUQUETTE, L. V. **Considerações sobre as interações entre contaminantes constituídos de hidrocarbonetos e os componentes do meio físico.** In: *Geociências: São Paulo, 1998, n. 2, v. 17, p. 527-557.*

FORNASARI FILHO, N. 1992. **Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 270 p.

FUNDAÇÃO COPPETEC. Síntese do Plano de Recursos Hídricos para a Fase Inicial da Cobrança na Bacia do Rio Paraíba do Sul. Disponível em: <http://www.hidro.ufrj.br/pgrh/pgrh-re-019-r0/pgrh-re-019-r0-cap3-p3.pdf>. Acesso em: 15/04/2008.

GEOCOVER 2000. Imagem GeoCover TM – Product Description Sheet - disponíveis em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>. Acesso em 20/11/2007

GOENOPAWIRO K.S. 1997. **Diagênese dos arenitos terciários da Bacia de Taubaté - SP.** Rio Claro, IGCE-UNESP, Dissertação de Mestrado, 149 p.

GOMES DA SILVA, A. M. B. 2006. **Condicionantes Geológico-Geotécnicos de Escavação Grampeada em Solo Residual de Gnaiss.** Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, 126p.

GUIMARÃES, P. L. 2003. **Zoneamento Geoambiental como subsídio à análise dos indicadores ambientais nas áreas de dutos: caracterização geoquímica e mineralógica das frações finas das coberturas de alterações intempéricas.** Trabalho de Conclusão de Curso. Rio Claro 2006, 63 p.

HASUI Y. E PONÇANO W. L. 1978. *Organização estrutural e evolução da Bacia de Taubaté.* Anais o XXX Congresso Brasileiro de Geologia. v 1. p 368-381. Recife 1978

HEILBRON M., PEDROSA-SOARES A. C., NETO M. DA C. C.SILVA L. C. DA., TROUW R A. J. & JANASI V. DE A. (2004) **Província Mantiqueira.** In: Geologia do Continente Sulamericano: Evolução e Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida 1º Edição, 203– 236 pp. Cap XIII

IBGE. Carta Topográfica, Folha Jacaré (SF-23-Y-D-II-3), escala 1:50.000. 1974

IMO e IPIECA (1996) – International Maritime Organization e International Petroleum Industry Environmental Conservation Association 1996. Sensitivity mapping for oil spill response. Report Series. Volume 1. 24p.

IAC - Oliveira, J. B. et al. 1999. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 4 mapas. Escala 1:500.000. Acompanha uma legenda expandida.

IPT - Geologia das folhas Jacaré (SF. 23-Y-D-II-3), Tremembé (SF.23-Y-B-V-4), Taubaté (SF.23-Y-D-II-2) e Pindamonhangaba (SF.23-Y-B-VI-3), escala 1:50.000, Estado de São Paulo /. São Paulo : IPT, 1990. nv. : il. + fotos + mapas. -. --0092902. - (IPT. Relatório ; n. 28732).

IPT – Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981. v.1 (IPT. Relatório ; n. 1183)

LAMAS, J. C. 2003. **Como substituir a energia vinda dos derivados de Petróleo**. Monografia. Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo.

LOLLO, J. A. 1996. **Uso da técnica de avaliação de terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. Tese de doutorado. Escola de engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo

MANCINI, T. M. 2002. **Métodos de caracterização de áreas potencialmente contaminadas por hidrocarbonetos de petróleo**. Monografia. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.

MATSUMOTO, M.; BITTENCOURT, M. D. Correlação entre algumas fisionomias de cerrado, no Vale do Paraíba e Classes de índices de vegetação obtidos espectralmente. **Anais do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, 2001. pp.21-26.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). 2002. **Especificações e Normas Técnicas para a Elaboração de Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamento de óleo**. Ministério de Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental nos Assentamentos Humanos, Programa de Proteção e Melhoria da Qualidade Ambiental, Gestão Integrada dos Ambientes Costeiros e Marinhos.

MIRANDA, E. E. de; COUTINHO, A. C. (Coord.). **Brasil Visto do Espaço**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <<http://www.cdbrasil.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 13 Jan 2008

MIRANDA, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 13 janeiro 2008.

MOREIRA, I. V. D. (Coord.). **Dicionário Básico de Meio Ambiente**. Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente / Petrobrás. Rio de Janeiro: 2001. Disponível em: http://www.redeambientalrj.org.br/dic_amb. Acesso em: 26/04/2008

OLIVEIRA, W. J. DE; BRAUN, O. P. G.; PEREIRA JR., E. R.; NASCIMENTO, V. L. DO; BRAGA FILHO, J. B.; PINESCHI, R.; RODRIGUES, A. F.; LOEIRO, R. T. M.; BIZERRIL, C. R. S. F. **Manual Básico para Elaboração de Mapas de Sensibilidade Ambiental a Derrames de Petróleo e Derivados no Sistema Petrobrás: Ambientes Terrestres e Fluviais – Sistema Petrobrás.** 2003. 176 p.

PAVÃO, M.; TALPO, E. **Inventário florestal do Estado de São Paulo:** monitoramento da cobertura vegetal natural da Região Administrativa do Vale do Paraíba. Instituto Florestal. Série. Registros, São Paulo, n. 31, p. 93-96, jul. 2007. Disponível em http://www.iflorestal.sp.gov.br/publicacoes/Serie_registros/IFSerReg31/index2.asp. Acesso: 15/04/2008

PEREIRA, L. C. 2002. **Aptidão agrícola das terras e sensibilidade ambiental: uma proposta metodológica.** Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas. 135p

POFFO, I. R. F.; XAVIER, J. C. M.; SERPA, R. R. 2001. A História dos 27 anos de Vazamento de Óleo no Litoral Norte do Estado de São Paulo (1974-2000). *Rev. Meio Ambiente Industrial* (30): 98-104

REIS, B. J.; BATISTA, G. B; DIAS, A. J. (2006). Recuperação de Área Degradada pela Extração de Areia no Vale do Paraíba Paulista. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/downloads/Beneditoeeoutros.pdf>. Acesso em 15/04/2008

RICCOMINI C., PELLOGIA A.U.G., SALONI J.C.L., KOHENKE M.W., FIGUEIRA R.M. 1989. Neotectonic activity in the Serra do Mar rift system (Southeastern Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 2, n° 2, p.191-197.

RICCOMINI C., SANT'ANNA G. L., FERRARI A. L. (2004) **Evolução Geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil.** In: Geologia do Continente Sul-americano: Evolução e Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida 1º Edição, 383-405 pp. Cap XXIII

RODRIGUES, R. 1992. **Características geológicas e geotécnicas intervenientes na estabilidade de massas coluviais da Serra do Cubatão – SP.** Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 116p.

SAAD, A. R. 1990. **Potencial econômico da Bacia de Taubaté (Cenozóico do Estado de São Paulo, Brasil) nas regiões de Jacareí, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba.** Rio Claro, IGCE-UNESP, Tese de Doutorado, 173 p.

SILVA, A. R. MATTOS, J. T. Sensoriamento Remoto para Mapeamentos Geoambientais visando zonas favoráveis a pesquisa de recursos hídricos subterrâneos: Uma abordagem metodológica. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3585-3592.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. *Notas Geomorfológicas*, Campinas, v 16, n 32. 1976.

UNGER, C. **As famílias do petróleo.** Rio de Janeiro: Record, 2004.

VALE DO PARAÍBA. Disponível em <http://www.valedoparaiba.com/geografiadovale/>
Acesso em 31/10/2007

VEDOVELLO, R.; MATTOS, J. T. 1998. A utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a Definição de Unidades Geotécnicas. Uma Abordagem a partir de Sensoriamento Remoto. *In*: SBCG. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 3. **Anais** (CD).

VEDOVELLO, R. 2000. **Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs**. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

VIDAL A. C.; CHANG HUNG KIANG. Caracterização Hidroquímica Dos Aquíferos Da Bacia De Taubaté. *Revista Brasileira de Geociências* volume 32nº 2, p.267-276, 2002

VIDAL A. C.; CHANG HUNG KIANG. Análise Geoestatística da Salinidade dos Aquíferos da Bacia De Taubaté. *Revista Brasileira de Geociências*, Volume 34, nº 1, p 109-116, 2004

WIECZOREK, A. **Mapeamento de sensibilidade a derramamento de petróleo do parque estadual da ilha do Cardoso – PEIC e áreas do entorno**. 2006. Dissertação de Mestrado apresentado ao programa de geociências e meio ambiente. Unesp Rio Claro 2006

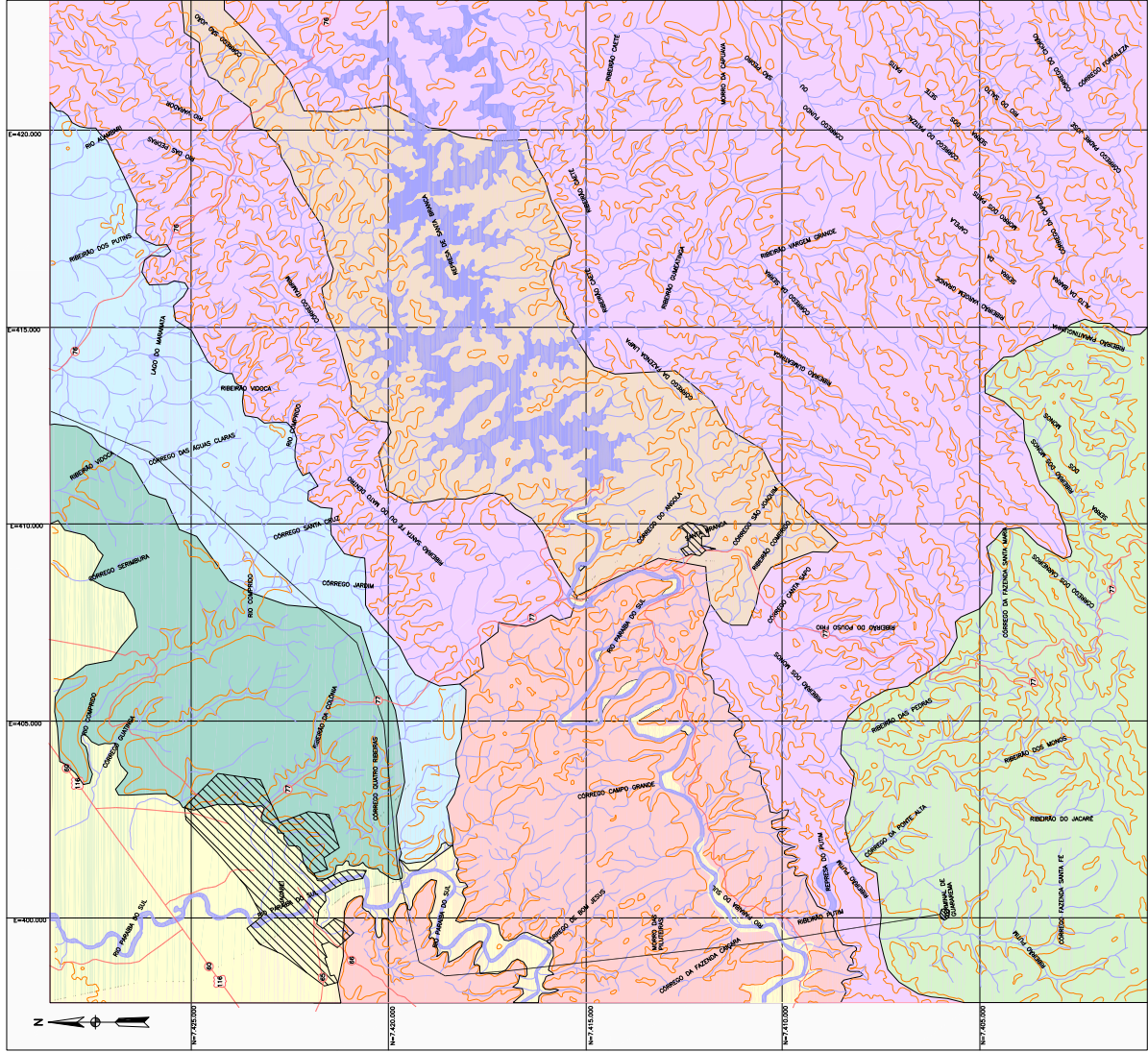
ZUQUETTE, L. V. **Importância do Mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico**: fundamentos e guia para a elaboração. Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos de Universidade de São Paulo para Concurso de Livre-Docência. Volume 1. 1993. 256p.

ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. 1998. **Cartas de Geologia de Engenharia**. *In*: Oliveira, A. M. S.; Brito, S. N. A.; *Geologia de Engenharia*. São Paulo: ABGE pp. 283 – 300.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. 2004. **Cartografia Geotécnica**. São Paulo: Oficina de Textos. 190p.

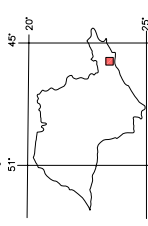
APÊNDICE A

CARTA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DA REGIÃO DO OLEODUTO “GUARAREMA-SÃO JOSÉ DOS CAMPOS” – VALE DO PARAÍBA (SP)

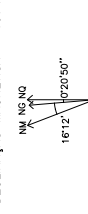


UBC	GEOMORFOLOGIA			CONDIÇÕES / CARACTERÍSTICAS			OUTRAS CARACTERÍSTICAS	PROCESSOS GEO MÓD TÍPICOS	SUSCETIBILIDADE
	PROJEÇÃO	ZONA	SUB-ZONA	OBSERVAÇÕES	HERFOLGIA	GEOLÓGICA	INSTRUMENTAL		
1				RELEVO BAIXO, PLANÍCIES FLUVIAIS, DECLIVIDADE < 2°	BAIXA INTENSIDADE DE DEFORMAÇÃO, PRESSIONAMENTO FLUVIAL	SEDIMENTOS E GRANITOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	SOLO E SUBSOLO ALUVIAIS, AREIOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	INUNDACÃO	ALTA
2				RELEVO BAIXO, PLANÍCIES FLUVIAIS, DECLIVIDADE < 2°	BAIXA INTENSIDADE DE DEFORMAÇÃO, PRESSIONAMENTO FLUVIAL	SEDIMENTOS E GRANITOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	SOLO E SUBSOLO ALUVIAIS, AREIOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	INUNDACÃO	ALTA
3				RELEVO BAIXO, PLANÍCIES FLUVIAIS, DECLIVIDADE < 2°	BAIXA INTENSIDADE DE DEFORMAÇÃO, PRESSIONAMENTO FLUVIAL	SEDIMENTOS E GRANITOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	SOLO E SUBSOLO ALUVIAIS, AREIOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	INUNDACÃO	ALTA
4				RELEVO BAIXO, PLANÍCIES FLUVIAIS, DECLIVIDADE < 2°	BAIXA INTENSIDADE DE DEFORMAÇÃO, PRESSIONAMENTO FLUVIAL	SEDIMENTOS E GRANITOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	SOLO E SUBSOLO ALUVIAIS, AREIOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	INUNDACÃO	ALTA
5				RELEVO BAIXO, PLANÍCIES FLUVIAIS, DECLIVIDADE < 2°	BAIXA INTENSIDADE DE DEFORMAÇÃO, PRESSIONAMENTO FLUVIAL	SEDIMENTOS E GRANITOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	SOLO E SUBSOLO ALUVIAIS, AREIOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	INUNDACÃO	ALTA
6				RELEVO BAIXO, PLANÍCIES FLUVIAIS, DECLIVIDADE < 2°	BAIXA INTENSIDADE DE DEFORMAÇÃO, PRESSIONAMENTO FLUVIAL	SEDIMENTOS E GRANITOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	SOLO E SUBSOLO ALUVIAIS, AREIOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	INUNDACÃO	ALTA
7				RELEVO BAIXO, PLANÍCIES FLUVIAIS, DECLIVIDADE < 2°	BAIXA INTENSIDADE DE DEFORMAÇÃO, PRESSIONAMENTO FLUVIAL	SEDIMENTOS E GRANITOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	SOLO E SUBSOLO ALUVIAIS, AREIOS, COM INTERCALAÇÃO DE CAMADAS DE AREIA E ARGILA	INUNDACÃO	ALTA

LOCALIZAÇÃO DO MAPA NO ESTADO



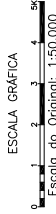
DECLINAÇÃO MAGNÉTICA – 1974



DECLINAÇÃO MAGNÉTICA CRESCE 9' ANUALMENTE

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS	
	DRENAGEM
	REPRESA
	ESTRADA FEDERAL
	ESTRADA ESTADUAL
	MUNICÍPIO
	CONTATO ENTRE AS UBCs
	CURVAS DE NÍVEL
	OLEODUTO

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
DATUM HORIZONTAL – CÔRREGO ALEGRE



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JULIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Rio Claro
Instituto de Geociências e Ciências Exatas

CARTA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DA FOLHA JACARÉ:
SUBSÍDIO À ELABORAÇÃO DE CARTAS DE
SENSIBILIDADE AMBIENTAL, A DERRAMES DE
PETRÓLEO E DERIVADOS, PARA O VALE DO PARAIBA (SP)

ÉRICA MANTOVANI DE OLIVEIRA
Orientador: Prof. Dr. José Eduardo Zaine

APÊNDICE A: Carta Geológico-Geotécnica da região do Oleoduto
"Guararém-São José dos Campos" – Vale do Paraíba (SP)

Rio Claro
2009

