

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

CARLOS ROBERTO LIBONATI MACHADO

APLICAÇÃO E COMPARAÇÃO DE  
METODOLOGIAS DE ANÁLISE AMBIENTAL  
NO TRECHO LESTE DO RODOANEL  
METROPOLITANO DE SÃO PAULO

VERSÃO CORRIGIDA

São Paulo  
2011

CARLOS ROBERTO LIBONATI MACHADO

APLICAÇÃO E COMPARAÇÃO DE  
METODOLOGIAS DE ANÁLISE AMBIENTAL  
NO TRECHO LESTE DO RODOANEL  
METROPOLITANO DE SÃO PAULO

Dissertação apresentada à Faculdade de Filosofia,  
Letras e Ciências Humanas da Universidade de São  
Paulo como parte dos requisitos para obtenção do  
título de Mestre em Geografia Física.

Área de Concentração: Geografia Física  
Orientador: Prof. Dr. Alfredo Pereira de Queiroz Filho

VERSÃO CORRIGIDA

São Paulo  
2011

## AGRADECIMENTOS

Ao professor Alfredo Pereira de Queiroz Filho, pela orientação, paciência e apoio demonstrados ao longo deste trabalho, sempre motivando e dando tranquilidade a todo momento.

Aos professores Ailton Luchiari e Gerardo Kuntschik, pelos importantes comentários e sugestões durante o Exame de Qualificação.

À Mariana Giannotti, esposa do professor Alfredo, pela disponibilização do material sobre Matriz de Erros.

Aos amigos e colegas da Unicastelo pela contribuição no desenvolvimento do trabalho. Em especial aos professores Marco Aurélio Alves de Oliveira, Ricardo Rosa, Ana Maria Mastrângelo, Leandro Gaffo e Daniela Miranda Guimarães, e aos funcionários Allan e Cristiane.

Aos meus alunos do curso de Geografia da Unicastelo, pelo convívio harmonioso no ambiente acadêmico.

Aos “tios” Lorenzo e Ana, pela prestatividade, amizade e carinho. E também pelos inúmeros almoços e jantares, além do sofá sempre disponível.

Aos meus pais, pela dedicação e empenho na minha formação, e principalmente pelo exemplo de vida.

À Sandra, pelo amor, carinho, apoio e paciência. E principalmente por me “obrigar” a atravessar, pelo menos todo final de semana, o caminho entre Mauá e Arujá, o nosso Rodoanel Leste particular.

Aos meus filhos, Fernando e Gabriel, por me ensinarem a todo instante a verdadeira felicidade em cada sorriso e nos abraços apertados. Me perdoem, por muitas vezes nestes últimos três anos, não poder me dedicar muito mais a vocês.

## RESUMO

MACHADO, C. R. L. **Aplicação e comparação de metodologias de análise ambiental no Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

Este trabalho visa aplicar e comparar duas metodologias de análise ambiental, a de Ross (1994) e a de Crepani et al. (2001), que abordam o ambiente dentro de uma perspectiva sistêmica, utilizando o conceito de Unidades Ecodinâmicas proposto por Tricart (1977). O objeto do presente trabalho é o Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo, parte do anel viário concebido como uma alternativa ao tráfego de passagem pelo centro da Região Metropolitana de São Paulo, o qual o DERSA estabeleceu o traçado definitivo que será implantado a partir de setembro de 2011. Na geração dos documentos cartográficos analíticos e de síntese foram aplicadas técnicas de Geoprocessamento. Também foram utilizadas imagens de Sensoriamento Remoto para a extração de informações referentes à cobertura vegetal e uso do solo. Os mapeamentos de síntese e os traçados gerados automaticamente apresentaram resultados bem divergentes em razão do tratamento desigual das metodologias. Enquanto a proposta de Ross (1994) enfatiza a questão geomorfológica, basicamente as declividades, a metodologia de Crepani et al. (2001) adota uma equivalência entre as variáveis e é mais abrangente ao analisar o ambiente, apresentando uma maior compatibilidade com a área de estudo. Contudo, as variáveis ambientais possuem uma importância relativa, os aspectos econômicos e políticos parecem ter sido mais relevantes na definição do traçado final do Trecho Leste do Rodoanel.

Palavras-chave: Análise Ambiental; Fragilidade Ambiental; Vulnerabilidade à Erosão; Rodoanel Metropolitano de São Paulo; Geoprocessamento; Sensoriamento Remoto.

## ABSTRACT

MACHADO, C. R. L. **Application and comparison of methodologies for environmental analysis in the Section East of the São Paulo Metropolitan Beltway**. 136 f. Dissertation (Masters in Physical Geography) – FFLCH, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

This work aims to apply and compare two methods of environmental analysis, the Ross (1994) and the Crepani et al. (2001), that address the environment within a systemic perspective, using the concept of ecodynamics units proposed by Tricart (1977). The object of this work is the Section East of the São Paulo Metropolitan Beltway, part of the ring road designed as an alternative to traffic passing through the center of the São Paulo metropolitan region, which DERESA set the final route will be implemented from September 2011. In the generation of analytical and synthesis cartographic Geoprocessing techniques were applied. Were also used Remote Sensing images to extract information on land cover and land use. Mappings synthesis and the traces generated automatically showed conflicting results because of unequal treatment of methodologies. While the proposed Ross (1994) emphasizes the issue geomorphological, basically the slopes, the methodology of Crepani et al. (2001) adopts an equivalence between the variables and is more comprehensive in analyzing the environment, providing greater compatibility with the study area. However, environmental variables have a relative importance, the economic and political aspects seem to have been more relevant in defining the final route of the Section East of the Beltway.

Keywords: Environmental Analysis; Environmental Fragility; Vulnerability to Erosion; São Paulo Metropolitan Beltway; Geoprocessing; Remote Sensing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de Classificação das Paisagens Terrestres	17
Figura 2 - Processo de Aquisição de Imagem de Sensoriamento Remoto	23
Figura 3 - Principais Componentes Viários Radiais e suas Conexões com o Rodoanel	42
Figura 4 - Carta Imagem Rodoanel Leste	46
Figura 5 - Quadro síntese dos produtos a serem elaborados na Análise Ambiental	62
Figura 6 - Base Cartográfica Rodoanel Leste	64
Figura 7 - Mapa Hipsométrico Rodoanel Leste	66
Figura 8 - Carta Clinográfica Rodoanel Leste	69
Figura 9 - Qualidade das Classificações em relação ao KAPPA	76
Figura 10 - Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal Rodoanel Leste – Cbers 2B	80
Figura 11 - Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal Rodoanel Leste – Landsat 5	81
Figura 12 - Mapa Geológico Rodoanel Leste	84
Figura 13 - Mapa Pedológico Rodoanel Leste	85
Figura 14 - Carta de Fragilidade Ambiental Rodoanel Leste	105
Figura 15 - Carta de Vulnerabilidade à Erosão Rodoanel Leste	106
Figura 16 - Divergência entre os modelos de Ross (1994) e Crepani et al. (2001) – área 1	109
Figura 17 - Divergência entre os modelos de Ross (1994) e Crepani et al. (2001) – área 2	109
Figura 18 - Comparação Fragilidade/Vulnerabilidade Rodoanel Leste – Carta 1	113
Figura 19 - Comparação Fragilidade/Vulnerabilidade Rodoanel Leste – Carta 2	116
Figura 20 - Trajetos Rodoanel Leste – Ross (1994) e Crepani et al. (2001)	120
Figura 21 - Comparação entre o traçado do Rodoanel (DERSA) e os traçados gerados automaticamente (ROSS e CREPANI)	122

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Pluviograma Acumulado Médio Mensal de 1984 a 2004 – Posto E3-050	87
Gráfico 2 - Pluviograma Acumulado Médio Mensal de 1984 a 1994 – Posto E3-147	87
Gráfico 3 - Pluviograma Acumulado Médio Mensal de 1984 a 2004 – Posto E3-260	88
Gráfico 4 - Pluviograma Acumulado Médio Mensal de 1984 a 2002 – Posto E3-239	88
Gráfico 5 - Distribuição das Classes de Fragilidade Ambiental em km <sup>2</sup>	110
Gráfico 6 - Distribuição das Classes de Vulnerabilidade à Erosão em km <sup>2</sup>	111
Gráfico 7 - Semelhanças e Divergências entre propostas de Ross (1994) e Crepani et al. (2001) – classes de mesma hierarquia.	114
Gráfico 8 - Semelhanças e Divergências entre propostas de Ross (1994) e Crepani et al. (2001) – classes de mesma hierarquia e adjacentes.	117

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1 - Terrenos planos com declividades inferiores a 2% na Planície Fluvial do Rio Tietê - Divisa Itaquaquetuba / Suzano	49
Foto 2 - Passagem da Av. Brasil sobre o Rio Guaió – Divisa Suzano/Poá	50
Foto 3 - Mosaicos de florestas em estágio de regeneração, reflorestamentos e áreas agrícolas próximos à Estrada dos Fernandes - Suzano	51
Foto 4 - Pesqueiro na região do vale do Rio Guaió – Bairro Vital Brasil, Mauá	54
Foto 5 - Corredores viários - Av. Humberto de Campos e linha ferroviária da CPTM - próximos ao Jardim do Mirante e Vila Ema, Ribeirão Pires	55
Foto 6 - Produtores rurais ao longo da Estrada dos Fernandes, na bacia do Rio Guaió, Suzano	56
Foto 7 - No primeiro plano cavas de mineração da Itaquareia, ao fundo Parque Ecológico de Itaquaquetuba com pequenos fragmentos florestais na várzea do Rio Tietê	58
Foto 8 - Distrito industrial junto à Rodovia Presidente Dutra – Bairro do Bonsucesso, Guarulhos	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características e Aplicações das bandas do Satélite LANDSAT	27
Tabela 2 - Características dos Satélites CBERS 1, 2 e 2B	28
Tabela 3 - Comparação entre o modelo vetorial e o modelo matricial	36
Tabela 4 - Matriz de Erros: bandas do sensor CBERS - CCD	75
Tabela 5 - Matriz de Erros: bandas do sensor LANDSAT - TM	75
Tabela 6 - Classificações CBERS e LANDSAT: quantificação da área das classes temáticas em km <sup>2</sup>	78
Tabela 7 - Grau de Fragilidade das Classes de Declividade	91
Tabela 8 - Grau de Fragilidade das Classes de Solos	91
Tabela 9 - Grau de Proteção das Classes de Cobertura Vegetal / Uso da Terra	92
Tabela 10 - Grau de Fragilidade das Classes de Características Pluviométricas	94
Tabela 11- Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas	97
Tabela 12 - Escala de Vulnerabilidade à Denudação das rochas mais comuns	99
Tabela 13 - Matriz dos índices de dissecação do relevo e valores de Vulnerabilidade	100
Tabela 14 - Classes de Declividade com os respectivos valores da escala de Vulnerabilidade	100
Tabela 15 - Valores de Vulnerabilidade dos Solos	101
Tabela 16 - Valores de Vulnerabilidade para a Cobertura Vegetal e Uso do Solo	103
Tabela 17 - Escala de Erosividade da Chuva e Valores de Vuln. à Perda de Solo	104
Tabela 18 - Correlação no mesmo nível entre as classes de Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade à Erosão	112
Tabela 19 - Correlação no mesmo nível e nas classes adjacentes entre as classes de Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade à Erosão	115
Tabela 20 - Comparação quantitativa e percentual entre os trajetos do Rodoanel	122

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO</b>	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.2 JUSTIFICATIVA	13
<b>2 - CONCEITUAÇÃO TEÓRICA</b>	16
2.1 ANÁLISE AMBIENTAL	16
2.2 SENSORIAMENTO REMOTO	22
2.2.1 Interpretação e Análise das Imagens	29
2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	35
2.3.1 Análise Espacial com SIG	38
<b>3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	42
3.1 RODOANEL METROPOLITANO DE SÃO PAULO	42
3.2 TRECHO LESTE DO RODOANEL	45
3.2.1 Caracterização Geral do Meio Físico	48
3.2.2 Caracterização Geral do Meio Biológico	50
3.2.3 Caracterização Geral do Meio Antrópico	52
<b>4 – MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	60
4.1 NÍVEL COMPILATÓRIO: LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DOS DADOS	63
4.1.1 Base Cartográfica	63
4.1.2 Mapa Hipsométrico	65
4.1.3 Modelo Numérico do Terreno	67
4.1.4 Carta Clinográfica	67
4.1.5 Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal	70
4.1.6 Mapa Geológico	82
4.1.7 Mapa Pedológico	83
4.1.8 Dados Climatológicos	86
4.2 NÍVEL CORRELATIVO: CARTA SÍNTESE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL	89

4.2.1 Modelo de Fragilidade Ambiental Baseado nas Classes de Declividade (ROSS, 1994)	90
4.2.2 Modelo de Vulnerabilidade à Erosão Baseado nas Unidades Territoriais Básicas (CREPANI ET AL., 2001)	95
4.3 NÍVEL SEMÂNTICO: ANÁLISE E COMPARAÇÃO DOS MODELOS	107
4.3.1 Aspectos Gerais da Comparação	107
4.3.2 Semelhanças e Divergências entre as Metodologias	112
4.3.3 Geração Automática de Traçados	118
4.4 NÍVEL NORMATIVO: RESULTADOS FINAIS E PROPOSIÇÕES	125
<b>5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	131
<b>REFERÊNCIAS</b>	132

## 1 – INTRODUÇÃO

O presente trabalho enfoca a aplicação e a comparação de duas metodologias de análise ambiental, a metodologia de Fragilidade Ambiental proposta por Ross (1994), com base nas Classes de Declividade; e a metodologia de Vulnerabilidade à Erosão proposta por Crepani et al. (2001), com base nas Unidades Territoriais Básicas (UTBs).

Estas metodologias foram aplicadas para analisar a faixa em que se localiza o futuro Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo, utilizando-se de produtos do Sensoriamento Remoto e técnicas de Geoprocessamento. Assim, a pesquisa busca responder, através da aplicação e comparação destas metodologias de análise ambiental, aquela que melhor se aproxima do traçado rodoviário definido pelo DERSA.

As etapas preliminares para a elaboração do presente estudo necessitaram da coleta de material bibliográfico e cartográfico referente ao Rodoanel e seu entorno, além da coleta de dados de campo da respectiva área de trabalho. Posteriormente foi feita a escolha e seleção dos dados do Sensoriamento Remoto, além da criação do banco de dados das informações geográficas em um ambiente SIG.

Para que os dados fossem manipulados e analisados de uma forma conjunta, foram criadas as cartas de declividade, hipsométrica e de uso do solo e cobertura vegetal, e compiladas as informações de geologia, pedologia e do clima, que modeladas em camadas temáticas permitiram gerar os documentos cartográficos de síntese de acordo com as propostas metodológicas aplicadas.

Os mapeamentos resultantes de Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade à Erosão permitiram obter um panorama das condições de susceptibilidade do meio

ambiente de forma integrada, compatibilizando suas características naturais com suas restrições, e possibilitaram através de uma análise comparativa verificar a proposta metodológica que apresenta mais compatibilidade com a área de estudo.

O trabalho está estruturado da seguinte forma, após esta introdução (Capítulo 1), que apresenta os objetivos e a justificativa da pesquisa, segue o capítulo referente à conceituação teórica (Capítulo 2), que aborda a questão da análise ambiental, aspectos referentes ao Sensoriamento Remoto, seus produtos e a interpretação e análise das imagens, além dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e suas técnicas de análise espacial.

A área de estudo, o Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo é caracterizado através das descrições e observações efetuadas sobre os meios físicos, biológicos e antrópicos (Capítulo 3). Na seqüência do trabalho (Capítulo 4), são discutidos os procedimentos metodológicos, os dados trabalhados e os produtos gerados através da aplicação das duas metodologias, além da análise comparativa entre os mapeamentos sínteses derivados e os resultados finais alcançados. Por fim, são apresentadas as considerações finais (Capítulo 5).

## **1.1 OBJETIVOS**

O objetivo principal deste trabalho consiste em aplicar duas metodologias de análise ambiental, a metodologia de Fragilidade Ambiental (ROSS, 1994) e a metodologia de Vulnerabilidade à Erosão (CREPANI et al., 2001), e compará-las com o intuito de verificar aquela que melhor se aproxima do traçado do Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo.

Possui como objetivos específicos: efetuar um mapeamento de uso e cobertura do solo a partir do processamento de imagens orbitais digitais; produzir em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), através dos recursos da álgebra booleana, mapas de fragilidade / vulnerabilidade ambiental a partir da integração de informações geográficas de interesse à análise ambiental (geologia, geomorfologia, pedologia, climatologia, uso e cobertura da terra); e comparar os produtos sínteses resultantes das propostas metodológicas.

## **1.2. JUSTIFICATIVA**

A questão da análise ambiental, do ponto de vista jurídico, tem seu fundamento no artigo 225, § 1º, inciso IV, da Constituição Federal. Tal preceito determina a exigência, na forma da lei, do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do ambiente, ao qual se dará publicidade (TAUK, 1991).

“O EIA é um procedimento analítico técnico-científico, realizado por equipe multidisciplinar, a respeito da descrição dos impactos ambientais previsíveis em decorrência de obras ou de atividades a serem implantadas em determinadas áreas, com sugestões específicas relacionadas a alternativas que sejam consideradas mais apropriadas para diminuir impactos negativos sobre o ambiente. Concluído o referido estudo, o responsável por sua realização deverá sintetizá-lo de maneira clara e concisa, sob forma de um relatório, denominado RIMA, que deverá servir como instrumento de divulgação” (TAUK, 1991, p. 65).

O conhecimento da distribuição espacial das diversas formas de ocupação do espaço urbano necessita de um sistema de informações detalhadas, e com um nível de atualização constante, devido ao caráter extremamente dinâmico desse ambiente.

Segundo Ross (2006), a pesquisa geográfica aplicada nas análises ambientais, demanda o uso rotineiro das tecnologias de informação, tais como imagens do Sensoriamento Remoto, os Sistemas Globais de Navegação por Satélite em inglês *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que permitem a geração e o tratamento de dados de forma eficiente e rápida.

Assim, os produtos do Sensoriamento Remoto fornecem meios para o levantamento atualizado de recursos físicos (topografia, hidrografia, uso do solo e cobertura vegetal), que têm influência considerável em projetos de Engenharia Civil, nos quais a tomada de decisões deve garantir a sua viabilidade e otimizar a relação entre funcionalidade e custo/benefício sócio-ambientais.

Temos como vantagens do uso de fotos aéreas e de outros sensores na implantação de uma estrada, a rapidez na definição da melhor diretriz; a quantidade de informações contidas; a uniformidade no estudo, mesmo havendo locais de difícil acesso; maiores condições de revisão do trabalho; informações complementares, como rede de drenagem, tipos de solo, geologia, fontes de material para a construção da estrada; obtenção de um arquivo de dados de uma vasta faixa; dentre outros (LOCH, 2008).

Como o projeto geométrico de uma rodovia resulta da análise conjunta de inúmeros aspectos; físicos, técnicos, econômico-financeiros, sociais e ambientais, é possível imaginar um sistema computacional que o gerasse de forma totalmente automatizada e otimizada. Devido à rapidez com que o computador realiza as rotinas repetitivas de cálculo, podem-se testar várias alternativas de traçado, e gradualmente caminhar para o que seria uma solução ótima.

Nesse contexto, as técnicas do Geoprocessamento auxiliam na análise ambiental, especificamente na prognose ambiental, permitindo simulações, criação de cenários prospectivos, investigação de interação entre entidades, gerando condições objetivas para a definição de normas de manejo ambiental a serem aplicadas em unidades territoriais e criando segmentações territoriais, traduzindo-se em zoneamentos (ROCHA, 2007).

## **2 - CONCEITUAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 ANÁLISE AMBIENTAL**

A análise ambiental de uma área requer um amplo e extenso trabalho multidisciplinar de investigação das características físicas e dos processos antrópicos e tem como objetivo compreender as relações entre a sociedade e natureza de forma integrada, o que pode ser realizado sob uma abordagem sistêmica dos diversos elementos que compõem a paisagem geográfica (ROSS, 1995).

Partindo deste princípio, os estudos da questão ambiental estabelecem relações entre os meios físico, biológico e antrópico. Assim, a análise das interações destes componentes fornece subsídios a um maior entendimento da dinâmica local e, conseqüentemente, proporciona melhores condições ao planejamento.

Desta forma, o ambiente pode ser analisado sob o prisma da Teoria Geral dos Sistemas, onde a ênfase é dada à inter-relação e interdependência entre os componentes que formam um sistema.

Sistema é uma totalidade integrada, é uma combinação de partes ou elementos formando um todo complexo ou unitário. Um sistema é um conjunto de objetos unidos por alguma forma de interação ou interdependência. Qualquer conjunto de partes unidas entre si pode ser considerado um sistema, desde que a relação entre as partes e o comportamento de todo seja o foco da atenção, o que implica que a compreensão da sua natureza e de seu funcionamento não pode ser alcançada pela simples análise das partes que o compõem (BERTALANFFY, 1972).

Nessa linha emerge a concepção de geossistema apresentada por Bertrand (1971), que se apoiou na Teoria Geral dos Sistemas e no aporte conceitual que

levou os biólogos e ecólogos a definirem o conceito de ecossistemas. O suporte teórico do geossistema está na noção de paisagem ecológica que é o estudo do quadro ambiental do ponto de vista ecológico, assim, ao contrário do ecossistema, o geossistema possui escala e suporte espacial bem definido.

Para Bertrand (1971), a definição de uma determinada unidade de paisagem se dá em função da escala de tratamento das informações. Neste contexto, define que o sistema de classificação das paisagens terrestres comporta seis níveis taxonômicos temporoespaciais: zona, domínio e região como unidades superiores, e geossistema, geofácies e geótopo como unidades inferiores (Figura 1). Assim, o geossistema corresponde a uma paisagem nítida e bem circunscrita na qual se pode, por exemplo, identificar instantaneamente nas fotografias aéreas.

UNIDADES DA PAISAGEM	ESCALA TEMPORO-ESPACIAL (A. CAILLEUX J. TRICART)	EXEMPLO TOMADO NUMA MESMA SÉRIE DE PAISAGEM	UNIDADES ELEMENTARES				
			RELEVO (1)	CLIMA (2)	BOTÂNICA	BIOGEOGRAFIA	UNIDADE TRABALHADA PELO HOMEM (3)
ZONA	G I grandeza G. I	Temperada		Zonal		Bioma	Zona
DOMÍNIO	G. II	Cantábrico	Domínio estrutural	Regional			Domínio Região
REGIÃO NATURAL	G. III-IV	Picos da Europa	Região estrutural		Andar Série		Quarteirão rural ou urbano
GEOSSISTEMA	G. IV-V	Atlântico Montanhês (calcário sombreado com faia higrófila a <i>Asperula odorata</i> em "terra fusca")	Unidade estrutural	local		Zona equipotencial	
GEOFÁCIES	G. VI	Prado de ceifa com <i>Molinio-Arrhenatheretea</i> em solo lixiviado hidromórfico formado em depósito morânico			Estádio Agrupamento		Exploração ou quarteirão parcelado (pequena ilha ou cidade)
GEÓTOPO	G. VII	"Lapiés" de dissolução com <i>Aspidium lonchitis</i> em microsolo úmido carbonatado em bolsas		Microclima		Biótopo Biocenose	Parcela (casa em cidade)

NOTA: As correspondências entre as unidades são muito aproximadas e dadas somente a título de exemplo.  
1 - conforme A. Cailleux, J. Tricart e G. Viers; 2 - conforme M. Sorre; 3 - conforme R. Brunet.

Figura 1 – Sistema de Classificação das Paisagens Terrestres.  
FONTE: BERTRAND (1971).

Segundo Monteiro (1978), o geossistema é entendido como um sistema singular, complexo, onde há a interação de elementos humanos, físicos, químicos e biológicos. Em sua concepção, o autor define que os elementos sócio-econômicos não constituem um sistema antagônico e oponente, mas sim que devem ser incluídos no funcionamento do próprio sistema.

Com Tricart (1977) há uma sintetização desta concepção geocológica em um novo modo de ver a natureza e a sociedade no contexto do entendimento da abordagem integrada, partindo da identificação das unidades de paisagem que ele denomina de Unidades Ecodinâmicas.

Para Tricart (1977, p.32), o conceito de Unidades Ecodinâmicas

(...) é integrado no conceito de ecossistema. Baseia-se no instrumento lógico de sistema, e enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia / matéria no meio ambiente. Portanto, é completamente distinto do ponto de vista estático do inventário. Um inventário pode ser útil para a ordenação e administração do território, mas, somente quando se trata de recursos não renováveis, como os minerais. Não é adequado para os recursos ecológicos. Com efeito, a gestão dos recursos ecológicos deve ter por objetivo a avaliação do impacto da inserção da tecnologia humana no ecossistema. Isso significa determinar a taxa aceitável de extração de recursos, sem degradação do ecossistema, ou determinar quais as medidas que devem ser tomadas para permitir uma extração mais elevada sem degradação. Esse tipo de avaliação exige bom conhecimento do funcionamento do ecossistema, ou seja, dos fluxos de energia / matéria que o caracterizam. Um inventário não pode fornecê-los, exatamente como um único censo de população não permite definir a dinâmica dessa população.

Na delimitação destas unidades ambientais deve-se considerar o ambiente em equilíbrio dinâmico como sendo estável, ao passo que o ambiente em desequilíbrio é instável, devido a sua alteração causada pelo homem, provocando desequilíbrios temporários ou permanentes. Assim, levando em conta o dinamismo das relações entre os elementos da paisagem e as intervenções humanas, Tricart (1977) estabeleceu três tipos de meios tidos como unidades ambientais: meios estáveis, meios intergrades e os fortemente instáveis.

Mantendo-se nesta perspectiva metodológica, Ross (1990) define as unidades ambientais e as classificam em Unidades Ecodinâmicas Instáveis, caracterizadas por ambientes que sofreram ou sofrem intervenções humanas modificando os ambientes naturais, e em Unidades Ecodinâmicas Estáveis, que são aquelas que representam ambientes em seu estado natural e mantendo seu equilíbrio dinâmico, mas que apresentam Instabilidade Potencial qualitativamente previsível face as suas características naturais e a sempre possível inserção antrópica.

Acrescentou também novos critérios para definir as Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis, estabelecendo as Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente em vários graus, desde a instabilidade muito fraca a muito forte. O mesmo foi aplicado para as Unidades Ecodinâmicas Estáveis, que se apresentam como áreas de instabilidade potencial, desde muito fraca até muito forte (ROSS, 1990).

Para se obter um panorama das condições de susceptibilidade do sistema é necessário, segundo Ross (1994), realizar um estudo integrado dos elementos componentes do estrato geográfico que dão suporte à vida animal e ao homem, os quais analisados e inter-relacionados geram um produto analítico-sintético que retrata a situação da área de estudo. Esta análise integrada permite obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade / vulnerabilidade dos ambientes naturais, resultando na carta síntese da fragilidade ou vulnerabilidade ambiental.

A análise integrada dos ambientes naturais, proposta por Ross (1994), é fundamentada na concepção de Tricart (1977) a qual enfatiza a importância de se considerar no planejamento “não somente as potencialidades dos recursos naturais, mas, sobretudo as fragilidades dos ambientes naturais face as diferentes inserções

dos homens na natureza”. Este autor cita a importância de se conhecer o papel de cada variável, uma vez que cada uma delas apresenta um certo grau de influência no ambiente, interferindo com maior ou menor intensidade.

Estas variáveis (relevo, solo, rocha, clima e uso da terra/cobertura vegetal) apresentam uma relação extremamente dinâmica e complexa e uma alta interdependência. Ou seja, nos estudos ambientais nada está dissociado, todos os fenômenos se inter-relacionam, se completam e possuem uma dinâmica conjunta. Daí a necessidade de se analisar conjuntamente todas as variáveis.

Segundo Ross (1994) estes estudos devem refletir a integração dos conhecimentos destas variáveis, baseando-se sempre no princípio de que a natureza apresenta uma funcionalidade intrínseca entre suas componentes físicas e bióticas, e desta maneira, torna-se possível avaliar a fragilidade / vulnerabilidade deste ambientes, possibilitando gerar um produto síntese que reflita as características ambientais no aspecto das fragilidades e nas possibilidades e potencialidades de uso, não esquecendo que a análise realizada sempre será uma abstração da realidade, um modelo que pode provocar algumas vezes generalizações e em outras, excesso de categorias ou unidades.

Thomaziello (2007) enfatiza que, a análise ambiental, sob qualquer foco ou interesse, seja político, social, econômico ou ecológico nunca deve ser feita a partir de uma única condição ou sob um único aspecto. Um processo erosivo pode ter sido causado por uma ação antrópica, como a retirada da cobertura vegetal e a conseqüente exposição do solo ou um corte de terreno para a abertura de estrada, mas a sua intensidade e a magnitude têm relação com as condições naturais do meio, como declividade, vulnerabilidade do terreno, tipo de solo e relação entre o volume de água precipitada, infiltrada e escoada.

Assim, os estudos sobre a fragilidade dos ambientes naturais em relação às intervenções humanas mostram que ela é maior ou menor em função de características genéticas destes. Os ambientes naturais mostram-se ou mostravam-se em estado de equilíbrio dinâmico até o momento em que as sociedades humanas passaram progressivamente a intervir cada vez mais intensamente na exploração dos recursos naturais (ROSS, 1994).

Na paisagem, um grande número de componentes e fatores funcionais se encadeiam, e uma dada ação de origem humana, pode desencadear um desastre antropogênico, interferindo nos elos entre os componentes e no equilíbrio do meio. É importante reforçar que um desastre pode ser mais ou menos intenso e mais ou menos catastrófico porque outras condições, não necessariamente antropogênicas, intensificaram os resultados causados pela ação humana. Sendo assim, a intensidade das respostas às ações desencadeadoras de um desastre poderá variar em função do conjunto de condições, fatores e agentes de controle intrínsecos e extrínsecos àquele espaço. Uma mesma ação humana reproduzida em duas paisagens, estrutural e funcionalmente diferentes, resultará em respostas diversas, variando em intensidade e magnitude.

Uma análise cuidadosa a partir da sobreposição de mapas temáticos, previamente elaborados de uma paisagem, pode auxiliar grandemente na compreensão das respostas dadas pelo meio diante de uma intervenção. Essa análise pode contribuir, inclusive, para que desencadeamentos catastróficos possam ser evitados, por meio de cruzamentos entre variáveis de interferências e de respostas.

Para Thomaziello (2007), se as respostas do meio às ações antropogênicas se dão de inúmeras formas, toda ação humana deve ser precedida de estudos

cautelosos de impacto e de planejamentos adequados a cada realidade e contexto. Nesse sentido, é necessária também a previsão de medidas minimizadoras dos efeitos negativos.

Segundo Ross (1994), quando estes trabalhos são expostos através de mapas e textos, são de extrema importância ao planejamento ambiental, que tenha como centro de preocupação o desenvolvimento sustentado, onde conservação e recuperação ambiental estão lado a lado com desenvolvimento tecnológico, econômico e social.

## **2.2 SENSORIAMENTO REMOTO**

Florenzano (2002) define Sensoriamento Remoto como a tecnologia que obtém da superfície terrestre imagens e outros tipos de dados, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. De acordo com a Figura 2, pode-se afirmar que um sistema de imageamento possui quatro componentes básicos: (A) fonte de energia, (B) meio de transmissão/propagação, (C) objeto, (D) sensor. Os demais componentes representam a transformação que a imagem sofre até chegar ao produto final e que são: (E) recepção, (F) análise e interpretação e (G) aplicação.

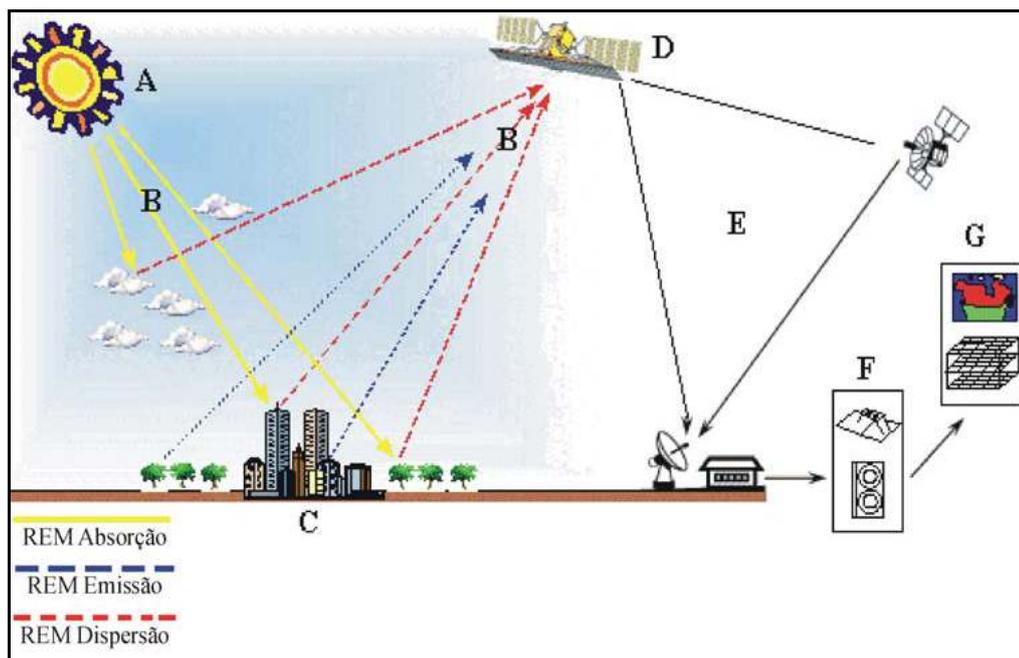


Figura 2 – Processo de Aquisição de Imagem de Sensoriamento Remoto.  
 FONTE: adaptada de CCRS (2001).

Um conceito fundamental em Sensoriamento Remoto refere-se à resolução de um sistema sensor. Campbell (1996) define resolução como a capacidade do sistema sensor em discriminar informações de detalhe. Nesta definição, as palavras discriminar e informações de detalhe merecem uma atenção especial. De acordo com Chuvieco (1996), a palavra discriminar está relacionada com a escala de trabalho e com a complexidade da paisagem, enquanto que informação de detalhe refere-se à capacidade do sistema sensor em distinguir variações na energia detectada. Com isto, a qualidade e a natureza da resolução dos sistemas sensores são afetadas em quatro dimensões: espacial, espectral, radiométrica e temporal.

A resolução espacial refere-se à habilidade do sistema sensor em distinguir e medir os alvos. Esta habilidade baseia-se na projeção geométrica do detector na superfície terrestre, definindo a sua área do campo de visada do instrumento numa certa altitude e num determinado instante. O ângulo definido por esta projeção é denominado de campo de visada instantânea (*Instantaneous Field Of View, IFOV*).

Já a resolução espectral é um conceito próprio para os sistemas sensores denominados de multiespectrais. Segundo Novo (1988), resolução espectral se refere à medida da largura das faixas espectrais, ou seja, à amplitude e à quantidade de faixas espectrais com as quais o sensor opera.

Resolução radiométrica representa a capacidade do sistema sensor em detectar as variações da radiância espectral recebida. A radiância de cada pixel passa por uma codificação digital, obtendo um valor numérico, denominado de Número Digital (ND). Como o número de níveis de cinza está expresso em bits, ou seja, expresso em função do número de dígitos binários necessários para armazenar, em forma digital, o valor do nível máximo de cinza, o seu valor é sempre em potência de 2, por exemplo, 8 bits significam 256 níveis de cinza (ROCHA, 2007).

Por fim temos a resolução temporal, que se refere à frequência de passagem do sensor num mesmo local, num determinado intervalo de tempo. Este ciclo está relacionado às características orbitais da plataforma (altura, velocidade, inclinação). Assim, enquanto os sensores de baixa resolução temporal levam vários dias ou até meses para captar imagens da mesma área, os de alta resolução temporal captam até várias imagens por dia.

Os sensores remotos podem ser instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões, helicópteros e aviões) e orbitais (satélites artificiais). Com relação à origem da fonte de energia, eles podem ser ativos, emitindo uma quantidade suficiente de energia na direção dos alvos para captar a sua reflexão, ou passivos, necessitando de fontes externas para captação da reflexão dos alvos, como a energia solar. Em função do produto gerado, podem ser classificados em sensores não-imageadores, traduzem os dados coletados sob a forma de gráficos e dados digitais diversos, ou

em sensores imageadores, que são aqueles que traduzem a informação coletada na forma de uma imagem, semelhante a uma fotografia (FITZ, 2008).

Como nesta pesquisa o uso de imagens do sensoriamento remoto se dará exclusivamente das adquiridas por sensores orbitais e, especificamente dos satélites de recursos naturais LANDSAT e CBERS, estes em relação às suas características e aplicações serão tratados a seguir.

Segundo Florenzano (2002), o LANDSAT foi colocado em órbita em 1972 com o nome de ERTS-1 (Earth Resources Technological Satellite-1), com um desempenho tão significativo que foi transformado na série LANDSAT. Nos três primeiros satélites da série, o principal sistema sensor era o Multispectral Scanner System (MSS), que operava em quatro canais (dois no visível e dois no infravermelho próximo), com uma resolução espacial de 80 metros e resolução temporal de 18 dias.

A partir do LANDSAT-4, lançado em 1982, além do MSS, foi colocado em operação um novo sistema sensor com tecnologia mais avançada, o Thematic Mapper (TM). Este sensor registra dados em sete canais ou bandas espectrais (três no visível, um no infravermelho próximo, dois no infravermelho médio e um no infravermelho termal) com uma resolução espacial de 30 metros para seis bandas e de 120 metros para o canal termal. O LANDSAT-5 já está operando desde 1984, muito além da vida útil prevista na época do lançamento, o LANDSAT-6 foi lançado em 1993 e perdeu-se no mar, e o LANDSAT-7 foi lançado em 1999 com os sensores ETM+ (Enhanced Thematic Mapper) e PAN (pancromático), operando com sete canais multiespectrais e um canal PAN respectivamente (INPE, 2011b).

Os satélites LANDSAT 5 e 7 encontram-se a uma altura de 705 km, suas operações são administradas pela NASA – *National Aeronautics and Space*

*Administration* e a produção e comercialização de imagens fica sob os cuidados da USGS – *United States Geological Survey*. No Brasil, o INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e algumas empresas privadas comercializam as imagens do LANDSAT. Para facilitar a identificação das imagens enviadas pelo satélite, foi definido internacionalmente um sistema de referência, conhecido com WRS – World Reference System. Centradas nos cruzamentos da grade WRS encontra-se uma cena que cobrem uma área de 185 x 185 km. Os cruzamentos são identificados por dois números: o número da órbita – base e o número do ponto.

O INPE, segundo Rocha (2007), recomenda as seguintes combinações para composições coloridas com as bandas do LANDSAT 5 e 7, usando as três cores primárias, vermelho, verde e azul no sistema RGB (*Red, Green, Blue*, em inglês):

- BANDAS 3, 2 e 1: imagens em cor natural, com boa penetração de água, realçando as correntes, a turbidez e os sedimentos. A vegetação aparece em tonalidades esverdeadas;
- BANDAS 4, 3 e 2: definem melhor os limites entre o solo e a água, ainda mantendo algum detalhe em águas profundas, e mostrando as diferenças na vegetação, que aparece em tonalidades de vermelho;
- BANDAS 5, 4 e 3: mostram mais claramente os limites entre o solo e água, com a vegetação mais discriminada, aparecendo em tonalidades de verde-rosa;
- BANDAS 7, 4 e 2: mostram a vegetação em tons verdes e permitem discriminar a umidade, tanto na vegetação como no solo.

Estas composições coloridas denotam as características de cada uma das bandas espectrais encontradas nos sensores TM e ETM dos satélites LANDSAT que podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características e Aplicações das bandas do Satélite LANDSAT

Banda	Intervalo espectral ( $\mu\text{m}$ )	Principais características e aplicações das bandas TM e ETM dos satélites LANDSAT 5 e 7
1	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63 - 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com <i>pinus</i> e <i>eucalipto</i> . Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4 - 12,5)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35)	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

Já o programa CBERS – *China Brazil Earth Resources Satellite* (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) é os resultado da cooperação técnica entre o Brasil e a China para a construção de satélites de Sensoriamento Remoto de recursos terrestres. Segundo INPE (2011a), no dia 14 de outubro de 1999 foi lançado o primeiro satélite desse programa, o CBERS-1, que deixou de funcionar em agosto de 2003. O CBERS-2 foi lançado em órbita em outubro de 2003 e funcionou até início de 2009. Ambos os satélites possuem três sistemas ópticos, CCD – Câmara Imageadora de Alta Resolução; IRMSS – Imageador por Varredura de Média Resolução; e WFI - Câmara Imageadora de Amplo Campo de Visada.

Como a previsão de lançamento do CBERS-3, que terá avanços tecnológicos significativos em comparação aos primeiros da série, é apenas para fins de 2011, o consórcio Sino-Brasileiro efetuou o lançamento de um satélite para dar continuidade ao projeto, o CBERS-2B que possui características idênticas aos CBERS 1 e 2, mas com algumas melhorias, como, por exemplo, a substituição do sensor IRMSS pelo HRC – Câmera Pancromática de Alta Resolução (INPE, 2011a). As principais características destes satélites se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 – Características dos Satélites CBERS 1, 2 e 2B

<b>SENSORES</b>	<b>CCD</b>	<b>IRMSS (CBERS 1 e 2)</b>	<b>WFI</b>	<b>HRC (CBERS 2B)</b>
<b>BANDAS</b>	0,51 – 0,73 (PAN) 0,45 – 0,52 0,52 – 0,59 0,63 – 0,69 0,77 – 0,89	0,50 – 1,10 (PAN) 1,55 – 1,75 2,08 – 2,35 10,40 – 12,50	0,63 – 0,69 0,76 – 0,90	0,50 – 0,80 (PAN)
<b>RESOLUÇÃO ESPACIAL</b>	20 m	80 m (PAN) 160 (termal)	260 m	2,7 m
<b>RESOLUÇÃO TEMPORAL</b>	26 dias	26 dias	3 -5 dias	130 dias
<b>LARGURA DA VISADA NO SOLO</b>	120 km	120 km	900 km	27 km

Fonte: [http://www.cbears.inpe.br/pt/programas/cbears1-2\\_cameras.htm](http://www.cbears.inpe.br/pt/programas/cbears1-2_cameras.htm)

Segundo Fitz (2008), as principais composições coloridas com as bandas do CBERS, geradas no sistema RGB, e suas aplicações são:

- BANDAS 3, 2 e 1: imagem que apresenta as cores naturalmente percebidas pelo olho humano. A água tende a possuir colorações azuladas, quando limpa, e próximas de marrom, quando possuir muitos sedimentos em suspensão. A vegetação apresenta variados tons de verde;
- BANDAS 4, 3 e 2: imagem conhecida como falsa-cor por apresentar cores diferentes da combinação das cores do visível. Nesta composição são realçadas as características da água (tons próximos do azul), do solo e de áreas urbanizadas

(tons azul-esverdeados). A vegetação apresenta coloração avermelhada, sendo utilizada para identificar diferentes tipos de vegetais ou possíveis focos de pragas nas plantas;

- BANDAS 2, 4 e 3: imagem falsa-cor na qual os cursos d'água são destacados com tons violeta escuros. As áreas urbanas apresentam variações de tons verde-violeta, em geral mais claros que os cursos d'água. A vegetação apresenta coloração esverdeada;

- BANDAS 2, 3 e 4: outra imagem falsa-cor na qual a área urbana é bastante realçada (tons claros azul-amarelados). A vegetação apresenta coloração azulada. Os cursos d'água apresentam coloração amarelo-esverdeadas.

### **2.2.1 Interpretação e Análise das Imagens**

Segundo Crosta (1992) existem duas técnicas de interpretação: a analógica e a digital. A interpretação analógica ou manual requer poucos equipamentos e, freqüentemente, limita-se à análise de somente uma única banda ou uma composição colorida formada por três bandas, devido às dificuldades de se analisar visualmente múltiplas imagens.

Para executar a interpretação visual de imagens precisam ser considerados alguns parâmetros descritos a seguir:

- *Tonalidade* – denota a cor e/ou o brilho dos objetos que compõem a cena, auxiliando na sua identificação e diferenciação com os demais objetos. Segundo Crosta (1992) os tons estão relacionados às propriedades de reflectância dos

materiais superficiais e dependem da porção do espectro eletromagnético considerado.

- *Textura* – refere-se à combinação da magnitude e frequência da variação tonal numa imagem, sendo produzida pelo efeito conjunto de todas as pequenas feições que compõem uma área em particular na imagem, definindo a aparência rugosa ou lisa da imagem. Para Crosta (1992), a tonalidade e a textura estão relacionadas diretamente, pois sem variações tonais, não se percebe mudanças na textura.

- *Sombreamento* – reflete a forma do objeto e o momento do imageamento, que vai depender da posição do objeto em relação à luz do Sol. É essencialmente importante na interpretação de objetos, ela pode revelar as características de área ou forma dos objetos, e também permite estimar alturas. No entanto, pode ocultar a visualização dos objetos por ela encobertos.

- *Forma* – refere-se ao desenho geométrico estabelecido pelo objeto, feição ou superfície. De modo geral, formas irregulares são indicadoras de objetos naturais, enquanto formas regulares indicam objetos artificiais ou culturais. É importante considerar que a forma de um objeto observado de uma perspectiva vertical é diferente em relação à observação horizontal (NOVO, 1998).

- *Padrão* – especifica a ocorrência de certos objetos usualmente dentro de um rigoroso arranjo espacial ou à organização desses objetos em uma superfície, permitindo que determinadas classes se diferenciem nas imagens, facilitando a interpretação.

- *Tamanho* – é um parâmetro que se relaciona em função da escala de uma imagem. É importante porque a área de um objeto é relativa em relação a outro objeto na imagem, permitindo interpretá-lo de acordo com a escala e com a resolução da imagem.

- *Localização* – refere-se à posição topográfica em que se encontram os objetos. O conhecimento existente sobre o tipo de clima, a geologia, o relevo, a vegetação e o tipo de ocupação de uma região é utilizado no processo de interpretação de uma imagem. Para Florenzano (2002), quanto maior é o conhecimento sobre a área de estudo, maior é a quantidade de informação que podemos obter, a partir da interpretação de imagens da área.

Já a análise digital possibilita manipular imagens complexas de várias bandas, datas e resoluções, o que envolve um grande número de etapas. Estas etapas podem ser divididas em: **pré-processamento**, **processamento** e **classificação** (CAMPBELL, 1996; CCRS, 2010; NOVO, 1988).

O **pré-processamento** refere-se à restauração quantitativa da imagem na qual são aplicadas operações para a correção de imperfeições geométricas, radiométricas e/ou ruídos que aparecem no processo de aquisição da imagem. Se estes erros não forem corrigidos, pode-se ter uma imprecisão no processamento final da imagem e como conseqüência limitações na qualidade do resultado.

Em relação à qualidade radiométrica da imagem, esta pode ser influenciada por três fatores: propriedades de campo, fatores ambientais durante a aquisição dos dados e propriedades do sensor. Esta correção influencia o valor de brilho da imagem, procurando-se corrigir o funcionamento do sensor ou ajustar o valor para compensar a degradação devido à atmosfera (CAMPBELL, 1996).

No que tange a correção geométrica, as imagens digitais contêm distorções geométricas em função da sua forma de aquisição, fazendo com que elas não possuam precisão cartográfica em relação ao real posicionamento dos objetos ou superfícies representados. Os erros sistemáticos podem ser corrigidos pelos dados de efemérides da plataforma e pelo conhecimento da distorção interna do sensor;

enquanto as distorções não-sistemáticas são corrigidas através de pontos localizados no campo ou em cartas topográficas, com suas respectivas coordenadas, denominados de pontos de controle de campo (CAMPBELL, 1996).

Já o **processamento** de imagens consiste de técnicas que possibilitem a visualização e a extração de informações específicas. De acordo com o CCRS (2001), há dois tipos de técnicas: realce e transformação.

Considera-se realce de imagem como o primeiro passo do processamento, que corresponde ao conhecimento da distribuição estatística dos dados da imagem, obtendo-se o valor do nível de cinza. O realce é utilizado somente para distinguir características ou contornos de interesse na imagem. Já a transformação de imagem corresponde a operações entre duas ou mais imagens diferentes com a finalidade de se obter mais informações a partir da sua combinação (CCRS, 2001).

Um tipo de transformação refere-se à manipulação no espaço de cores. A partir das informações multiespectrais podem ser obtidas distintas composições coloridas, aplicando-se para cada banda uma das três cores primárias: vermelho, verde e azul (RGB – *Red, Green, Blue*, em inglês). Este processo permite uma melhor visualização das informações em distintas regiões do espectro, facilitando, por exemplo, a delimitação de algumas coberturas vegetais.

Em relação à **classificação** digital de imagens de Sensoriamento Remoto, nesta etapa identificam-se grupos homogêneos de pixels, representando características ou classes de cobertura do solo. Com base nestas informações, os pixels são agrupados de acordo com a sua informação espectral (representada pelo ND), ocorrendo uma redução da variabilidade contínua para uma escala categórica. Os métodos mais comuns de classificação são: classificação supervisionada e classificação não-supervisionada (CHUVIECO, 1996; CCRS, 2001).

A classificação supervisionada necessita de áreas-teste (ou de treinamento), que correspondem a amostras representativas de áreas homogêneas de diferentes classes temáticas. Estas áreas-teste são usadas para treinar o algoritmo a reconhecer áreas espectralmente similares a cada classe. Trata-se de um algoritmo especial que determina o limiar de cada classe-teste, e em seguida cada pixel da imagem é comparado e associado a uma das classes. A seleção das amostras para classificação baseia-se na familiaridade do usuário com a imagem e do seu conhecimento dos tipos de cobertura do solo da área em estudo. Desta forma o usuário supervisiona a categorização das classes (NOVO, 1988).

Na classificação supervisionada podem ser utilizados métodos diversos, como o do paralelepípedo, da distância mínima e da máxima verossimilhança. Em se tratando de uma evolução com relação aos demais, o método da máxima verossimilhança certamente é, hoje, o mais utilizado dentre os classificadores supervisionados. Esse método, como os demais, se baseia na escolha de áreas que possam ser representativas de determinadas feições conhecidas, no entanto utiliza a média e a covariância dos pixels amostrados, sendo calculada a probabilidade de um pixel externo a essas amostras pertencer a elas (FITZ, 2008).

Por outro lado, na classificação não-supervisionada a interação mencionada não ocorre. As classes espectrais são agrupadas exclusivamente com base na informação numérica dos dados ou número digital (ND) e combinadas com as classes temáticas de informação. Para determinar a estrutura dos agrupamentos usa-se um algoritmo denominado de Segmentação, onde é especificado o tamanho mínimo de cada grupo e o grau de similaridade entre os pixels deste grupo. Em termos gerais, esse método é utilizado para atividades em que não se tem acesso à área trabalhada, isto é, não se tem certeza do comportamento dos alvos. Tal

situação implica incertezas quanto aos produtos gerados, pois não se tem controle sobre os agrupamentos selecionados (FITZ, 2008).

Para avaliar a exatidão da classificação digital efetuada sobre as imagens de satélite, torna-se necessário comparar o mapa obtido através da classificação dos dados de sensor com dados de referência ou verdade de campo. A relação entre estes dois conjuntos geralmente é resumida em uma matriz de confusão ou tabela de contingência. A matriz de erros ou de confusão identifica o erro global da classificação para cada categoria, mostrando também como se deram as confusões entre as categorias (BRITES et al., 1996).

De acordo com Congalton e Green (1999 apud GIANNOTTI, 2003), algumas das razões para realizar análises de exatidão em mapeamentos resultantes de classificações de imagens orbitais são: a simples motivação pela curiosidade – desejo em saber quão bom é um mapa; a necessidade de aumentar a qualidade, identificando as fontes de erros a serem corrigidas; e a necessidade de comparar as diversas técnicas de classificação.

Gong e Howard (1990 apud BRITES et al., 1996), sugerem o índice Kappa como um dos procedimentos mais utilizados para mensurar a exatidão das classificações temáticas por representar inteiramente a matriz de confusão. Esse índice toma todos os elementos da Matriz de Confusão em consideração, ao invés de apenas aqueles que se situam na diagonal da mesma, o que ocorre quando se calcula a exatidão global da classificação. A estimativa de Kappa é resultante da proporção de concordância depois que a concordância devido à casualidade é retirada de consideração.

## 2.3 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

Aronoff (1989) define SIG como um sistema de captação, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados georreferenciados. Câmara & Medeiros (1998) indicam como principais características do SIG a capacidade de inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno; oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados georreferenciados.

Seguindo esta abordagem, Teixeira et al. (1992) consideram como informação geográfica o conjunto de dados cujo significado contém associações ou relações de natureza espacial. Esses dados podem ser representados em forma gráfica, numérica ou alfanumérica (combinação de letras e números), e sua manipulação dá-se por meio de um Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBD), ou seja, a conversão de informações geográficas do mundo real para uma base de dados virtual compreende uma série de modelizações lógico-matemáticas.

Assim, segundo Câmara et al. (2008), os dados alfanuméricos são dados constituídos por caracteres que podem ser armazenados em tabelas, as quais podem formar um banco de dados, já os dados espaciais são considerados aqueles que podem ser representados espacialmente, ou seja, de forma gráfica. A estrutura de tais tipos de dados pode seguir o modelo matricial ou o modelo vetorial.

O modelo matricial ou em grade (raster) é representado por uma matriz com  $n$  linhas e  $m$  colunas, na qual cada célula, denominada de pixel, apresenta um valor  $z$

que pode indicar, por exemplo, uma cor ou tom de cinza a ele atribuído. Já o modelo vetorial é composto por três primitivas gráficas (pontos, linhas e polígonos) e utiliza um sistema de coordenadas para a sua representação. Os pontos são representados por apenas um par de coordenadas, ao passo que linhas e polígonos são representados por um conjunto de pares de coordenadas. A Tabela 3 exhibe aspectos comparativos entre estes dois modelos de estruturas de dados de um SIG.

Tabela 3 – Comparação entre o modelo vetorial e o modelo matricial

ASPECTOS	VETORIAL	MATRICIAL
<b>Relações espaciais entre objetos</b>	Armazena informações sobre relacionamentos	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos
<b>Ligação com banco de dados</b>	Facilita associar atributo a elementos gráficos	Associa atributos apenas à classe do mapa
<b>Análise, simulação e modelagem</b>	Representação indireta de fenômenos contínuos. Álgebra de mapas é limitada	Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço. Simulação e modelagem mais fáceis
<b>Algoritmos</b>	Problemas com erro geométrico	Processamento mais rápido e eficiente
<b>Armazenagem</b>	Por coordenadas (mais eficiente)	Por matrizes
<b>Aplicações</b>	Redes: concessionárias de água, esgoto, lixo, energia, telefonia, transportes, etc	Ambientais: diagnóstico, zoneamento, planejamento, gerenciamento, manejo, gestão ambiental, etc

Fonte: Adaptado de Câmara et al (2001).

Um dos modelos mais utilizados com geotecnologias diz respeito à elaboração de MNTs ou MDTs, ou seja, respectivamente Modelos Numéricos do Terreno ou Modelos Digitais do Terreno. Em termos gerais, pode-se afirmar que os MNTs podem ser representados matematicamente por meio de pontos e linhas (no plano) como as curvas de nível e os pontos cotados, ou através de grades de pontos (para superfícies tridimensionais) como por exemplo, grades regulares e triangulares. Esses modelos proporcionam, portanto, a possibilidade de construção de uma superfície tridimensional a partir de atributos de dados dispostos no sistema (FITZ, 2008).

Em relação às grades de pontos, as grades regulares são representações matriciais, onde cada elemento da matriz se encontra associado a um valor numérico. Em sua geração são usados interpoladores matemáticos, a partir de um conjunto de pontos originais, para estimar os valores para as células que não possuem elevação, considerando-se os pontos vizinhos. Já as grades triangulares ou TIN – *Triangular Irregular Network* são estruturas do tipo vetorial, compostas de arcos (arestas) e nós (vértices), que representam a superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas (CÂMARA et al., 2001).

Segundo Câmara et al. (2001), as grades regulares são mais indicadas para variáveis geofísicas, principalmente pela facilidade de manuseio computacional. Por serem discretizadas regularmente, representam melhor as superfícies para visualização tridimensional. Em contrapartida, as grades triangulares são melhores para representar a variação do terreno, pois capturam as suas particularidades através das suas linhas de estrutura (cumeadas, talwegues), *breaklines* (estradas, muros) e áreas planas (platôs, superfície de lagos), sem a necessidade de grande quantidade de dados.

Rocha (1997) apresenta uma relação das diversas áreas de aplicação de SIG, divididas em cinco grupos principais:

- *Ocupação Humana* – redes de infra-estrutura; planejamento e supervisão de limpeza urbana; cadastramento territorial urbano; mapeamento eleitoral; rede hospitalar; rede de ensino; controle epidemiológico; roteamento de veículos; planejamento urbano; sistema de informações turísticas; controle de tráfego aéreo; sistemas de cartografia náutica; serviços de atendimentos emergenciais.
- *Uso da Terra* – planejamento agropecuário; estocagem e escoamento da produção agrícola; classificação de solos; gerenciamento de bacias hidrográficas;

planejamento de barragens; cadastramento de propriedades rurais; levantamento topográfico e planimétrico; mapeamento do uso da terra.

- *Uso de Recursos Naturais* – controle do extrativismo vegetal e mineral; classificação de poços petrolíferos; planejamento de gasodutos e oleodutos; distribuição de energia elétrica; identificação de mananciais; gerenciamento costeiro.

- *Meio Ambiente* – controle de queimadas; estudos de modificações climáticas; acompanhamento de emissão e ação de poluentes; gerenciamento florestal de desmatamento e reflorestamento.

- *Atividades Econômicas* – planejamento de marketing; pesquisas socioeconômicas; distribuição de produtos e serviços; transporte de matéria-prima.

### **2.3.1 Análise Espacial com SIG**

A análise espacial num SIG pressupõe o conhecimento das relações espaciais entre as entidades geográficas fundamentais. A topologia é um conceito fundamental nos SIG, especialmente na análise espacial associada ao modelo vetorial de dados espaciais. É a topologia que define as relações espaciais entre os diferentes elementos gráficos (pontos, linhas e áreas), isto é, a posição relativa de cada elemento gráfico em relação aos restantes. Para Ferreira (2006), um SIG só funciona porque foi desenhado com base em técnicas de análise espacial transformadas em funções por meio de linguagens de programação.

Segundo Aronoff (1989), existem três grandes categorias de funções a considerar na análise espacial em SIG:

- *Funções de acesso ou pesquisa, classificação e medição* – através deste conjunto de funções é possível ter acesso à informação gráfica e alfanumérica, possibilitando a realização de operações de *Query-Display* (pesquisa gráfica e pesquisa por atributos).

- *Funções de superposição de mapas (overlay)* – este tipo de função permite a realização de análises segundo uma aproximação da álgebra booleana ou da teoria dos conjuntos. O uso desta estrutura apresenta como vantagem a simplicidade e aplicabilidade, pois são análogas ao tradicional método de sobreposição de mapas empregando mesas de luz, permitindo que gerem produtos cartográficos de síntese, onde o produto do cruzamento de distintos tipos de informações salienta correlações que evidenciam a conexão entre fenômenos e a percepção de novas configurações espaciais. No entanto, para Queiroz Filho & Martinelli (2007) o ato de cruzar mapas não define o resultado como síntese, os SIGs são instrumentos utilizados para realizar a síntese, e não sua metodologia.

- *Funções de análise de vizinhança e de contextualização* – as aplicações de vizinhança dos dados gráficos dizem respeito à exploração das características do entorno do espaço analisado. Nelas incluem-se operadores de distância, cálculos relacionados com o melhor caminho a ser seguido, interpolação de pontos (geração de mapas de isolinhas e de modelos numéricos de terreno), análises de proximidade e de redes, cálculos de volumes.

A capacidade de um SIG para responder a questões de análise espacial depende da implementação eficiente de códigos, que se baseiam em alguns paradigmas, tais como a codificação vetor – raster, a representação orientada a objetos e a estrutura em camadas (FERREIRA, 2006).

Primeiramente é importante destacar que, dentro de um SIG ocorre a transformação da paisagem real em paisagem digital. Esta reconstrução do mundo percebido pelo homem na forma de arquivos digitais se dá por meio de modelos espaciais abstratos.

As representações digitais da paisagem podem ser estruturadas segundo uma associação entre objetos ou entidades geométricas interconectadas, onde os elementos da paisagem são delimitados por fronteiras e atributos individuais que ocupam espaços fixos e contém propriedades previsíveis e exatas, organizados em dimensões euclidianas simples como pontos, linhas e polígonos; como também pode ser estruturada através de uma superfície contínua e complexa, transformada por padrões e processos naturais, que aceitam a existência de erros e resíduos que, embora inevitáveis, podem ser estimados e reduzidos (FERREIRA, 2006).

A análise espacial assim vai depender dos objetos e das relações entre as informações dos elementos geográficos e principalmente das questões que deverão ser respondidas. Não há um modelo adequado, muitas vezes será preciso combinar as diferentes abordagens para agregar informação ao problema estudado (CÂMARA et al., 2001).

Conforme se pode observar, a capacidade de armazenamento e de associação da informação ao espaço geográfico através de um SIG, torna a análise espacial uma ferramenta de grande auxílio aos planejadores e tomadores de decisão.

Assim, o SIG é um sistema de análise espacial que deve estar vinculado à área de planejamento na geografia. Entretanto, o SIG tem enfrentado inúmeras barreiras epistemológicas e de método na geografia, que dificultaram sua inserção em algumas categorias do conhecimento geográfico. Uma visão equivocada que

argumenta ser ele apenas um instrumental de informática útil para simples consulta ao banco de dados e não um suporte à decisão (FERREIRA, 2006).

### 3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 RODOANEL METROPOLITANO DE SÃO PAULO

O Rodoanel Metropolitano de São Paulo foi concebido como uma alternativa de tráfego para desviar a rota de veículos do centro expandido da cidade de São Paulo, interligando as principais rodovias de acesso à metrópole. Sua implantação prevê a parceria do setor público em níveis federal, estadual e municipal, com o setor privado, sendo executado por trechos, conforme pode ser observado na Figura 3.

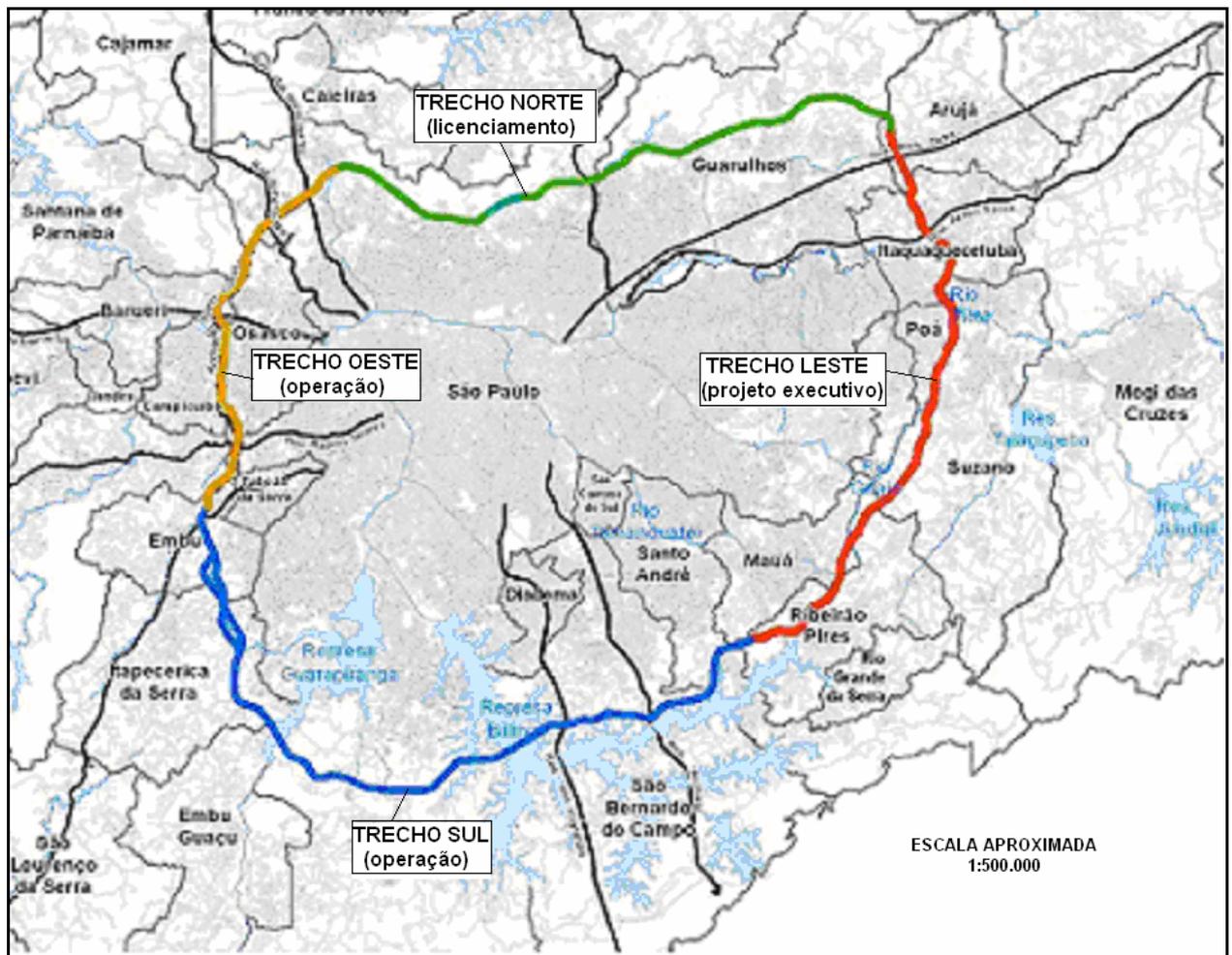


Figura 3: Principais Componentes Viários Radiais e Suas Conexões com o Rodoanel

Fonte: Adaptado de DERSA, 2008a

Os trechos oeste e sul já estão prontos e em atividade; o trecho leste, objeto do presente estudo, encontra-se com seu traçado definido, licenças ambientais concedidas e concorrência das obras efetuadas, sendo previsto que se inicie a construção em setembro de 2011, e a entrega seja efetuada em um prazo de três anos após o início das obras; e por fim o último trecho, o norte, cujo Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e seu respectivo Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA) já foram encaminhados, tendo já aprovada a licença ambiental prévia pelo CONSEMA (Conselho Estadual de Meio Ambiente).

Segundo DERSA (2008a), a função principal do Rodoanel é interligar o sistema rodoviário da Grande São Paulo, atendendo aos seguintes objetivos:

- ordenar o tráfego de transposição da RMSP, principalmente o de caminhões, desviando-o do centro da Região Metropolitana, reduzindo os tempos de percurso entre rodovias e a solicitação dos sistemas viários locais, bem como contribuindo para a elevação da qualidade de vida da população;
- hierarquizar e estruturar o transporte de passageiros e cargas na RMSP, servindo de alternativa para os fluxos de longa distância entre as sub-regiões da metrópole; promovendo a ligação entre os municípios da Região Metropolitana, de forma a facilitar a circulação sem necessidade de utilizar o sistema viário principal da Capital;
- atender ao planejamento estratégico traçado pelo Plano Diretor de Desenvolvimento de Transportes – PDDT, que, juntamente com a instalação do Ferroanel e de Centros de Logística Integrados CLI, constituem os elementos centrais de uma plataforma logística metropolitana voltada para reorganizar a interface entre a RMSP e o restante do Estado e do País, e permitir a integração intermodal do transporte de cargas;

- propiciar a ligação entre as rodovias que servem a Região Metropolitana, por meio de uma via bloqueada, com acessos controlados e alto nível de serviços, e servir como alternativa estratégica de tráfego ao Anel Metropolitano existente;
- constituir-se em fator de reordenação do uso do solo da Região Metropolitana e de otimização do futuro transporte regional de cargas e passageiros;
- constituir-se em agente de integração entre as regiões metropolitana e macrometropolitana que compreende importantes cidades do Estado (Regiões Metropolitanas de São Paulo, Campinas e Baixada Santista, Região de Sorocaba, Região de São José dos Campos e Vale do Paraíba).

O Rodoanel de São Paulo está sendo implantado num contexto urbano / ambiental, sendo conceituado como um instrumento de desenvolvimento urbano, preservação ambiental, racionalização do transporte e promoção da integração regional, conforme as seguintes diretrizes estabelecidas para o seu projeto e construção:

- evitar áreas com declividade acentuada e solo inadequado ao suporte do leito rodoviário, e áreas densamente ocupadas, para que não haja ruptura do tecido urbano e desapropriações;
- minimizar a interferência com parques, Áreas de Proteção Ambiental, Áreas de Proteção aos Mananciais e sistemas de drenagem natural;
- estar inserido em uma faixa entre 20 e 40 km do centro de São Paulo, uma vez que abaixo de 20 km encontra áreas urbanas densamente ocupadas e acima de 40 km torna-se menos atrativo ao tráfego;
- promover a organização do espaço urbano metropolitano pela integração de diretrizes metropolitanas às municipais, induzindo a expansão urbana a oeste e a leste da capital e inibindo a ocupação ao sul e ao norte (DERSA, 2008a).

### 3.2 TRECHO LESTE DO RODOANEL

O Trecho Leste, objeto deste estudo, possuirá 43,5 km e interligará as rodovias Presidente Dutra (BR-116) e Ayrton Senna (SP-070) ao Trecho Sul do Rodoanel que finaliza no município de Mauá, logo após cruzar as rodovias Anchieta e dos Imigrantes. Seu traçado percorrerá o território de seis municípios: Ribeirão Pires, Mauá, Suzano, Poá, Itaquaquecetuba e Arujá (Figura 4).

Este trecho terá extrema importância, já que fará a ligação do Porto de Santos ao Aeroporto Internacional de Guarulhos, além de permitir a integração entre importantes áreas industriais da Região Metropolitana de São Paulo, o ABC, a Zona Leste da cidade de São Paulo e a região do Alto Tietê, modificando estruturas urbanas periféricas e funções econômicas tradicionais, como por exemplo, áreas produtoras de hortifrutigranjeiros.

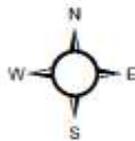
Os objetivos específicos do Trecho Leste do Rodoanel, segundo DERSA (2008a), são os seguintes:

- desviar da malha urbana os fluxos rodoviários de carga que cruzam a região metropolitana de São Paulo com destino ou origem nos sistemas rodoviários da região leste da RMSP (Presidente Dutra (BR-116), Ayrton Senna- Carvalho Pinto (SP-070) e Rodovia Henrique Eroles (SP-066), assim como aqueles da região sudeste (formados pelas ligações perimetrais – Rodovia Índio Tibiriçá (SP-031), Tamoios (SP-099) e Cubatão – Ubatuba (SP-055) e as radiais Itaquaquecetuba – Igaratá (SP-056), Mogi das Cruzes – Salesópolis (SP-088), Mogi das Cruzes – Bertioga (SP-098));
- viabilizar uma via adequada de conexão da região leste da RMSP com o Porto de Santos e os demais sistemas rodoviários regionais mencionados anteriormente;

# RODOANEL LESTE CARTA IMAGEM

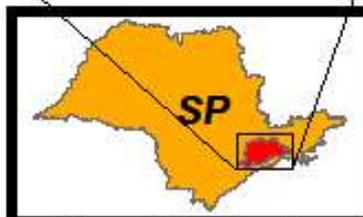
- Rodoanel Leste
- Área Analisada
- Fotos - numeração

FONTE:  
Imagem LANDSAT 5 - TM 219/076  
Data de Passagem: 24/10/2009  
Composição Colorida 5R 4G 3B



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum Vertical: Imbituba-SC  
Datum Horizontal: SAD-69  
Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"  
Organização e Elaboração: Carlos Roberto Libonatti Machado  
Data: Julho 2011



Mapa de Localização

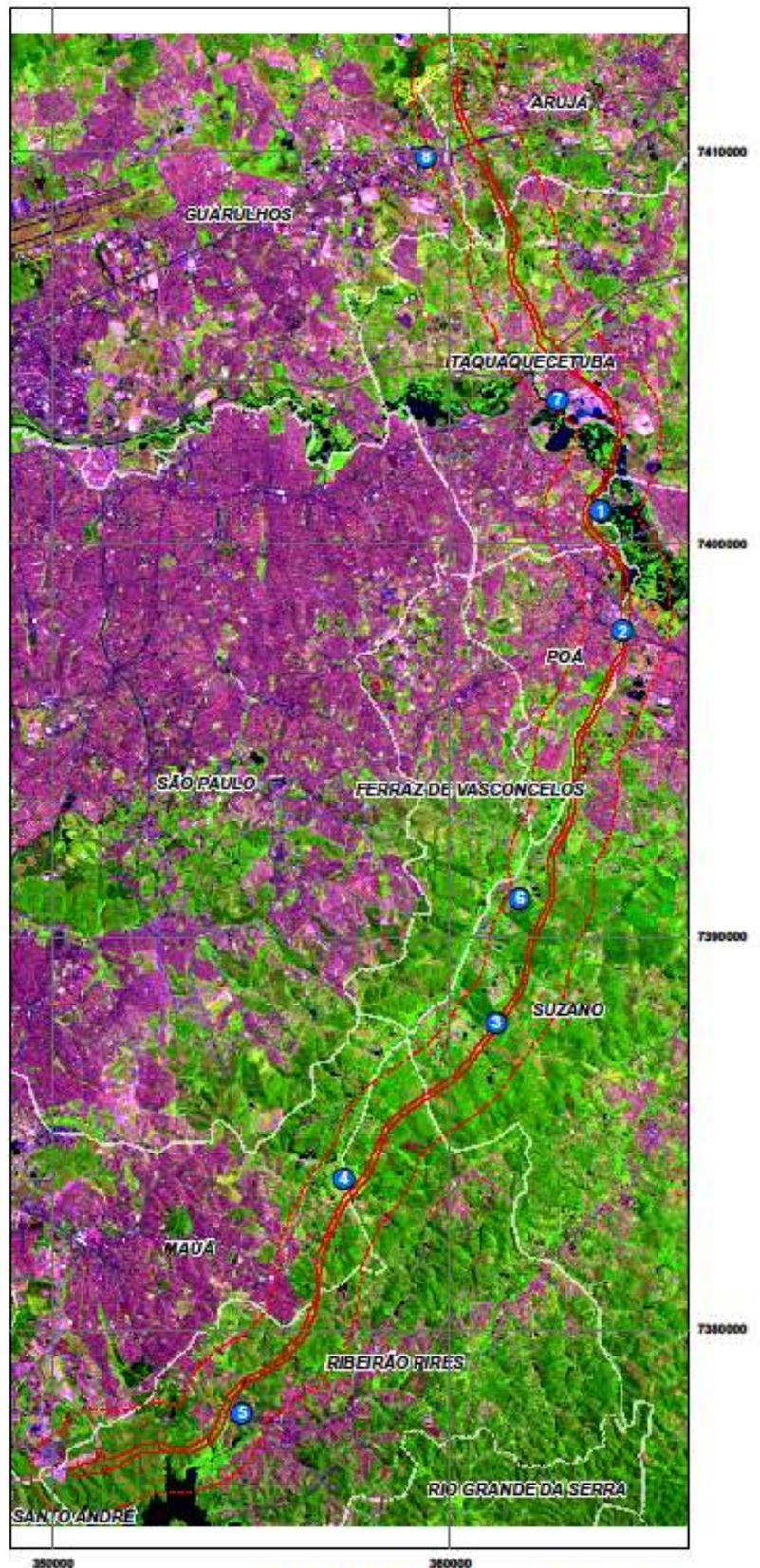


Figura 4 - Carta Imagem Rodoanel Leste

- complementarmente, ao viabilizar no futuro uma alça ferroviária interligando as duas linhas ferroviárias já existentes que se dirigem ao Porto de Santos (Alça Sul do Ferroanel), compartilhando a faixa de domínio de parte do percurso do Rodoanel e implantando-se futuros Centros de Logística Integrada (CLI), o Trecho Leste do Rodoanel inclui entre seus objetivos o estímulo a intermodalidade no transporte de cargas.

Os impactos regionais do empreendimento deverão afetar principalmente as porções nordeste, leste e sudeste, e parcialmente a porção sul da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Assim, a área de influência indireta inclui os municípios de Arujá, Guarulhos, Ferraz de Vasconcelos, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Suzano, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Caetano do Sul e São Bernardo do Campo, além das Sub-prefeituras de Ermelino Matarazzo, Itaquera, Penha, São Mateus, Cidade Tiradentes, Itaim Paulista, Guaianazes, São Miguel Paulista, Aricanduva, Mooca e Vila Prudente na cidade de São Paulo (DERSA, 2008b).

No entanto, este trabalho será restrito à área de influência direta do Trecho Leste do Rodoanel, que segundo DERSA (2008a), é fixada como uma faixa que se estende por aproximadamente 1 km além do eixo do traçado definido. Assim, os dados coletados, as análises efetuadas e os mapas elaborados nesta pesquisa serão limitados nesta faixa onde a rodovia influencia diretamente.

Maiores detalhes acerca das principais características do empreendimento, questões como pavimento, drenagem, obras de arte, intersecções e áreas de apoio, além das famílias atingidas e das medidas preventivas, mitigadoras e compensatórias, podem ser visualizadas no Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e

em seu respectivo Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA), disponibilizados pelo DERSA ao público.

### **3.2.1 Caracterização Geral do Meio Físico**

A área por onde passará o Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo, trata-se de uma região de transição climática de topografia singular onde a delimitação geográfica do clima é complexa. O clima é considerado do tipo Temperado Úmido com inverno seco. As precipitações neste período são baixas, não ultrapassando os 50 mm. A concentração das precipitações ocorre entre dezembro e fevereiro, que apresentam médias acima de 200 mm, caracterizando os verões quentes e úmidos, com temperatura média do mês mais quente (fevereiro) de 28°C (TARIFA & AZEVEDO, 2001).

Está inserida no Planalto Paulistano, em uma porção caracterizada por relevos de colinas e morrotes, com altitudes em torno de 800 metros, e de morros em torno de 900 metros de altitude. Esses relevos são sustentados por micaxistos, filitos, migmatitos, anfibolitos, granitos, gnaisses; sedimentos terciários da Formação São Paulo e unidades correlatas, que se associam a formas de relevo mais suaves, e depósitos quaternários nas planícies aluviais (Foto 1). Assim, podem ser caracterizados geomorfologicamente quatro tipos de terrenos: planície fluvial, colinas pequenas, morrotes e morros (DERSA, 2008a).



Foto 1: Terrenos planos com declividades inferiores a 2% na Planície Fluvial do Rio Tietê  
Divisa Itaquaquetuba / Suzano  
Autor: Carlos Roberto Libonati Machado – abril/2009

Os solos predominantemente são os Argissolos Vermelho-Amarelo distróficos, textura argilosa e média/argilosa que se associam a Cambissolos Háplicos, distróficos, textura argilosa, ambos A moderado e que correm associados aos relevos de Morros e de Morrotes. Esses solos têm profundidade, friabilidade, drenagem e retenção hídrica subsuperficial moderada, apresentam características físicas favoráveis ao enraizamento, tem fertilidade muito baixa e são excessivamente ácidos devido aos altos teores de alumínio. A presença de textura binária e declive acentuados torna esses solos muito vulneráveis à erosão, que é agravada pela presença de afloramentos rochosos, que causam limitações severas a trafegabilidade nesses solos (OLIVEIRA, 1999).

Em relação à hidrografia e drenagem, a porção ao sul da área de pesquisa ocupa bacias contribuintes da Represa Billings e pequeno trecho da cabeceira do Rio Tamanduateí. Seguindo para norte, a drenagem é feita pela bacia do Rio Guaió (Foto 2) e do Córrego Itaim, afluentes da margem esquerda do Rio Tietê. Na parte

central, o Trecho Leste está inserido na Planície Fluvial do Rio Tietê. Ao norte do Tietê a drenagem é realizada pelas bacias do Ribeirão Caputera, Córrego Água Branca e por trecho da bacia do Rio Baquirivu-Guaçu, já no extremo norte da área de pesquisa.



Foto 2: Passagem da Av. Brasil sobre o Rio Guaió – Divisa Suzano/Poá  
Autor: Carlos Roberto Libonati Machado – abril/2009

### **3.2.2 Caracterização Geral do Meio Biológico**

O Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo localiza-se no limite leste da grande mancha urbana formada pela Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e está inserida no domínio da Mata Atlântica. A cobertura vegetal natural original era composta por formações da Floresta Ombrófila Densa Montana e ecossistemas associados, com destaque para a vegetação nas planícies fluviais do Rio Guaió e do Rio Tietê. A cobertura vegetal atual é composta por formações campestres e florestais, remanescentes da Floresta Ombrófila Densa com diferentes

graus de perturbação antrópica, além de reflorestamentos comerciais e de formações mistas (IBGE, 2005).

Ao longo de toda a metade sul do Trecho Leste, ocorrem os principais e mais extensos remanescentes florestais da vegetação nativa, distribuídos em manchas de diversos tamanhos, entremeadas por reflorestamentos comerciais, áreas agrícolas e vários tipos de ocupação urbana e periurbana (Foto 3). Em geral, estes remanescentes constituem formações secundárias e desenvolvidas da Floresta Ombrófila Densa Montana em estágios médio e médio a avançado de regeneração, que apresentam conectividade relativamente elevada entre si ou constituem grandes manchas contínuas na paisagem. Neste trecho ocorre uma Unidade de Conservação de nível municipal, o Parque Municipal da Gruta de Santa Luzia em Mauá.



Foto 3: Mosaicos de florestas em estágio de regeneração, reflorestamentos e áreas agrícolas próximos à Estrada dos Fernandes - Suzano  
Fonte: DERSA, 2008a

Em direção ao norte, ao se aproximar da parte central do Trecho Leste a cobertura vegetal nativa remanescente diminui, restringindo-se a fragmentos florestais cada vez menores e mais isolados. Em geral, são formações bastante degradadas e isoladas em meio à matriz antrópica, com quase nenhuma conectividade com áreas mais preservadas, salvo algumas áreas ao longo da Planície Fluvial do Rio Guaió. A metade norte do traçado do Rodoanel apresenta duas situações distintas de paisagem, que determinam dois segmentos com tipos de cobertura vegetal diferenciados. A primeira localiza-se na parte central da área de implantação do Rodoanel e abrange terrenos das planícies aluviais dos Rios Guaió e Tietê, atravessando vários tipos de formações com características próprias e adaptadas às partes emersas destas planícies, e abrangendo parte da APA da Várzea do Rio Tietê, a qual tem restrições de uso e ocupação. O segundo tipo de paisagem ocorre predominantemente ao norte da Rodovia Ayrton Senna até o final do Trecho Leste, sendo caracterizado por relevo de colinas e morrotes, de antropização antiga, porém com urbanização recente, e pequenos remanescentes de vegetação nativa alterados (DERSA, 2008a).

### **3.2.3 Caracterização Geral do Meio Antrópico**

Conforme se observa na Carta Imagem (Figura 4), a zona leste da Região Metropolitana de São Paulo é uma região onde diversos núcleos urbanos originalmente isolados um dos outros, encontram-se em processo de conurbação / integração. Alguns desses núcleos já se encontram integralmente fundidos à mancha urbana consolidada da Região Metropolitana, como é o caso de Mauá,

Ferraz de Vasconcelos e Poá. No entanto, outros municípios da região interceptada, principalmente Ribeirão Pires, Suzano, Itaquaquecetuba e Arujá, estão integrados de maneira ainda parcial à mancha urbana da Região Metropolitana, existindo diversas áreas ainda não urbanizadas permeando o tecido urbano.

Nestes vazios urbanos entremeados entre as marchas urbanas consolidadas, ocorre um mosaico de diferentes tipos de usos do solo com destaque para as atividades hortifrutigranjeiras, reflorestamentos comerciais vinculados às indústrias de papel e celulose, mineração e remanescentes da vegetação nativa, neste caso com maior ocorrência nas áreas de topografia menos favorável ao desenvolvimento de atividades antrópicas.

A área por onde passará o Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo, em termos gerais, apresenta três compartimentos com vetores de urbanização diferenciados.

O primeiro compartimento, localizado na parcela localizada mais ao sul, atinge a periferia do município de Mauá, em um território que se situa na região de transição entre áreas periféricas e áreas rurais, ou seja, entre as franjas periféricas de bairros residenciais de Mauá e as áreas pouco ocupadas e com restrições ambientais situadas no entorno do Reservatório Rio Grande em Ribeirão Pires.

Neste compartimento, o Rodoanel percorrerá principalmente áreas não-urbanizadas, atravessando uma área industrial (empresa CBC), a borda de um núcleo urbano consolidado (Vila das Palmeiras, Jardim Santa Eliza), pequenos agrupamentos habitacionais em formação no Jardim Santa Inês, um bairro de chácaras (São Caetaninho), a borda de alguns outros bairros periurbanos em Ribeirão Pires, um agrupamento habitacional situado no extremo leste de Mauá e diversas áreas de chácaras, entre elas o bairro Recanto Vital Brasil, e pequenas

áreas de produção rural com horticultura e pesqueiros situados na região do Vale do Rio Guaió entre Mauá e Ribeirão Pires, atingindo residências, chácaras e pequenas atividades econômicas (Foto 4).



Foto 4: Pesqueiro na região do vale do Rio Guaió – Bairro Vital Brasil, Mauá  
Autor: Carlos Roberto Libonati Machado – abril/2009

Está situado na área de influência formada pela Avenida Humberto de Campos, que constitui um corredor viário radial metropolitano com a Avenida dos Estados e a ligação ferroviária Linha 10 da CPTM (Foto 5). Diversas outras avenidas e estradas rurais formam a estrutura viária dando acesso a essa região que está localizada na parcela de áreas periurbanas situadas entre os centros urbanos de Ribeirão Pires e Mauá. A malha viária regional é pouco densa e desarticulada, com muitas estradas vicinais sem pavimentação. As principais tendências identificadas são: adensamento, expansão e conurbação das áreas centrais de Mauá e Ribeirão Pires, consolidação do setor industrial do bairro Sertãozinho de Mauá, ampliação das ocupações residenciais irregulares, em áreas declivosas e com fragilidade, devido à

valorização do solo no ABC, e a expansão da ocupação irregular e / ou de baixo padrão sobre as áreas rurais nas franjas periféricas do extremo leste do município de Mauá (DERSA, 2008a).



Foto 5: Corredores viários - Av. Humberto de Campos e linha ferroviária da CPTM - próximos ao Jardim do Mirante e Vila Ema, Ribeirão Pires  
Fonte:DERSA, 2008a

Em relação ao segundo compartimento, este se localiza na parte central da região estudada, e constitui-se em sua maior parte de áreas que se caracterizam como bairros dormitório com presença de poucas atividades de uso misto, comércio local com baixo grau de emprego e grandes áreas industriais em consolidação. Com exceção das áreas de expansão urbana dos centros dos municípios de Suzano e Poá, localizadas no entorno da rodovia SP-066, as áreas urbanas são em geral bastante críticas em termos de infra-estrutura urbana e se situam em distritos com altas taxas de crescimento demográfico. Ao sul desse setor encontram-se majoritariamente parcelas do território ainda não urbanizadas e áreas com restrições

ambientais (proteção aos mananciais), com ocupação predominantemente rural, especialmente de produção hortifrutigranjeira e chácaras de lazer (Foto 6).



Foto 6: Produtores rurais ao longo da Estrada dos Fernandes, na bacia do Rio Guaió, Suzano  
Fonte:DERSA, 2008a

Assim, este compartimento abrange predominantemente áreas de produção rural (horticultura e silvicultura), além de outras áreas não-urbanizadas sem uso antrópico localizadas em Suzano. Abrange, também, áreas de expansão urbana na região do bairro Casa Branca, e paralelamente à várzea do Rio Guaió atinge áreas não urbanizadas até alcançar a mancha urbana formada pela conurbação urbana de Poá e Suzano, em bairros situados na divisa dos municípios em ambos os lados do rio Guaió. Daí em diante atravessa na direção norte, áreas menos densas desta região urbanizada atingindo ainda alguns usos residenciais, e diversas atividades econômicas situadas no entorno das Avenidas Brasil e Major Pinheiro Froes (SP-

066). A seguir, atinge a várzea do Rio Tietê na divisa Suzano / Itaquaquetuba, onde será implantado o trevo de ligação do Rodoanel com a SP-066.

Os principais vetores de expansão urbana desse compartimento se localizam no sentido norte-sul a partir das manchas urbanizadas de Suzano / Poá pela Estrada dos Fernandes, e no eixo viário radial situado na área de influência da Rodovia SP-066 (Estrada Velha São Paulo - Rio), em continuação ao eixo da Avenida Marechal Tito na zona leste de São Paulo, que tem uma função metropolitana de ligação entre São Paulo, Poá, Suzano e Mogi das Cruzes. Também estruturam este vetor as Linhas da CPTM, entre elas, a Linha 12 Safira. As principais tendências desta parcela são: expansão urbana para a região norte de Suzano polarizada pela Avenida Miguel Badra, para o leste de Suzano em direção à Mogi das Cruzes por meio da SP-066, e potencialização do Parque Industrial de Itaquaquetuba, Poá e Suzano devido às vantagens locacionais geradas pela implantação da Avenida Mario Covas (DERSA, 2008a).

Já o terceiro compartimento, corresponde à parcela mais ao norte e apresenta territórios constituídos por franjas e manchas mais esparsas de urbanização, com bairros residenciais polarizados pela Estrada de Santa Isabel e do Bonsucesso, localizados na região ao norte de Itaquaquetuba e a oeste de Arujá, e com predominância de uso residencial de baixa densidade, no território situado entre as Rodovias Ayrton Senna e Presidente Dutra.

O Rodoanel neste compartimento irá percorrer a várzea do Rio Tietê, inicialmente pela margem esquerda em Poá e Itaquaquetuba, onde atingirá alguns agrupamentos habitacionais, para depois cruzar para a margem direita para afastar-se da região próxima ao centro urbano de Itaquaquetuba, atingindo a borda de uma grande área de exploração mineral (Foto 7).



Foto 7: No primeiro plano cavas de mineração da Itaquareia, ao fundo Parque Ecológico de Itaquaquecetuba com pequenos fragmentos florestais na várzea do Rio Tietê  
Fonte:DERSA, 2008a

Após a travessia da APA da Várzea do Rio Tietê, passará por uma região com atividades econômicas e usos residenciais localizados no entorno da Estrada de Santa Isabel e, após a travessia sobre a rodovia Ayrton Senna, atingirá um núcleo de bairros situados ao norte da rodovia, no local onde será implantado o entroncamento desta via com o Rodoanel. Após este trecho, seguirá em direção à rodovia Dutra entre áreas não urbanizadas e atividades rurais remanescentes situadas no município de Itaquaquecetuba, abrangendo predominantemente áreas não urbanizadas, bordas de núcleos urbanos, uma indústria química e áreas com atividade agrícola (horticultura) em Arujá, onde finalizará o Trecho Leste do Rodoanel.

Segundo DERSA (2008a), a tendência mais recente nesta área é o adensamento e a conurbação de Itaquaquecetuba com a região ao sul de Arujá e Guarulhos. Nesse sentido, destaca-se o vetor de urbanização gerado no entorno da Estrada de Santa Isabel (SP-056), importante ligação metropolitana entre

Itaquaquecetuba, Arujá e Santa Isabel, com conexão com a Rodovia Presidente Dutra. Esse eixo de urbanização avança paralelamente à região da várzea do Rio Tietê em direção nordeste e se espraia para Arujá pela Estrada de Santa Isabel (SP-056), a noroeste pela estrada do Bonsucesso, situado em um quadrante menos urbanizado, com presença de vazios urbanos e planejado pelos municípios para receber indústrias, a exemplo dos distritos industriais localizados ao longo das Rodovias Dutra e Ayrton Senna (Foto 8).



Foto 8: Distrito industrial junto à Rodovia Presidente Dutra – Bairro do Bonsucesso, Guarulhos  
Autor: Carlos Roberto Libonati Machado – abril/2009

## 4 – MATERIAIS E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a execução do presente estudo foi desenvolvida uma seqüência de atividades operacionais seguindo os pressupostos estabelecidos por Libault (1971), que apresenta uma proposta metodológica genérica.

A sua proposta, publicada sob o título “Os quatro níveis da pesquisa geográfica”, foi elaborada em função do tratamento quantificado da informação e tem uma aplicação mais ajustada para dados de natureza numérica que possam ser traduzidos em tabelas e gráficos. Nela, o autor distingue os quatro níveis de pesquisa: nível compilatório; nível correlatório; nível semântico e nível normativo.

O nível compilatório corresponde à primeira fase da pesquisa, que na realidade tem duas etapas. Não se pode compilar informações quando não se dispõe do seu levantamento. Desse modo, a primeira etapa do nível compilatório é de fato obter-se os dados. A segunda etapa do nível compilatório é de fato o que lhe dá o nome. Nessa fase, a seleção das informações é a preocupação central, e nesse momento o domínio do conhecimento teórico – conceitual é fundamental para não se desprezar dados que na realidade possam ter grande significado (LIBAULT, 1971).

O segundo nível proposto por Libault (1971), denominado de correlativo, corresponde a fase de correlacionar os dados para posteriormente estabelecer a interpretação. A fase de correlação das informações é um momento de aprimoramento da interpretação embora ao se fazer a compilação dos dados de certo modo já se esteja operacionalizando, de forma não explícita, a análise. O correlacionamento dos dados é uma operação importante e seletiva. Não se pode correlacionar informações de diferentes naturezas, ou seja, dados heterogêneos. A

correlação de dados não – homogêneos leva obrigatoriamente a interpretações erradas.

O terceiro nível é o semântico, onde se chega a resultados conclusivos a partir dos dados selecionados e correlacionados nas etapas anteriores. Nesse momento da interpretação estabelecem-se as generalizações possíveis e os dados puros deixam de ser simplesmente informação factual ou numérica e assumem caráter significativo em nível de interpretação. É, portanto, o momento de se descobrir leis, de se conhecer o mecanismo de funcionamento de um determinado fenômeno e de se poder estabelecer parâmetros que possibilitem sua aplicação (LIBAULT, 1971).

O quarto e último nível denominado por Libault (1971) de normativo, refere-se à fase em que o produto de pesquisa se transforma em modelo. Essa modelização é representada através de cartogramas sínteses ou de gráficos que traduzem de forma mais simples e visual os produtos da pesquisa.

Um quadro sintético das etapas de elaboração e desenvolvimento desta pesquisa seguindo estes quatro níveis da pesquisa geográfica, pode ser observado na Figura 5.

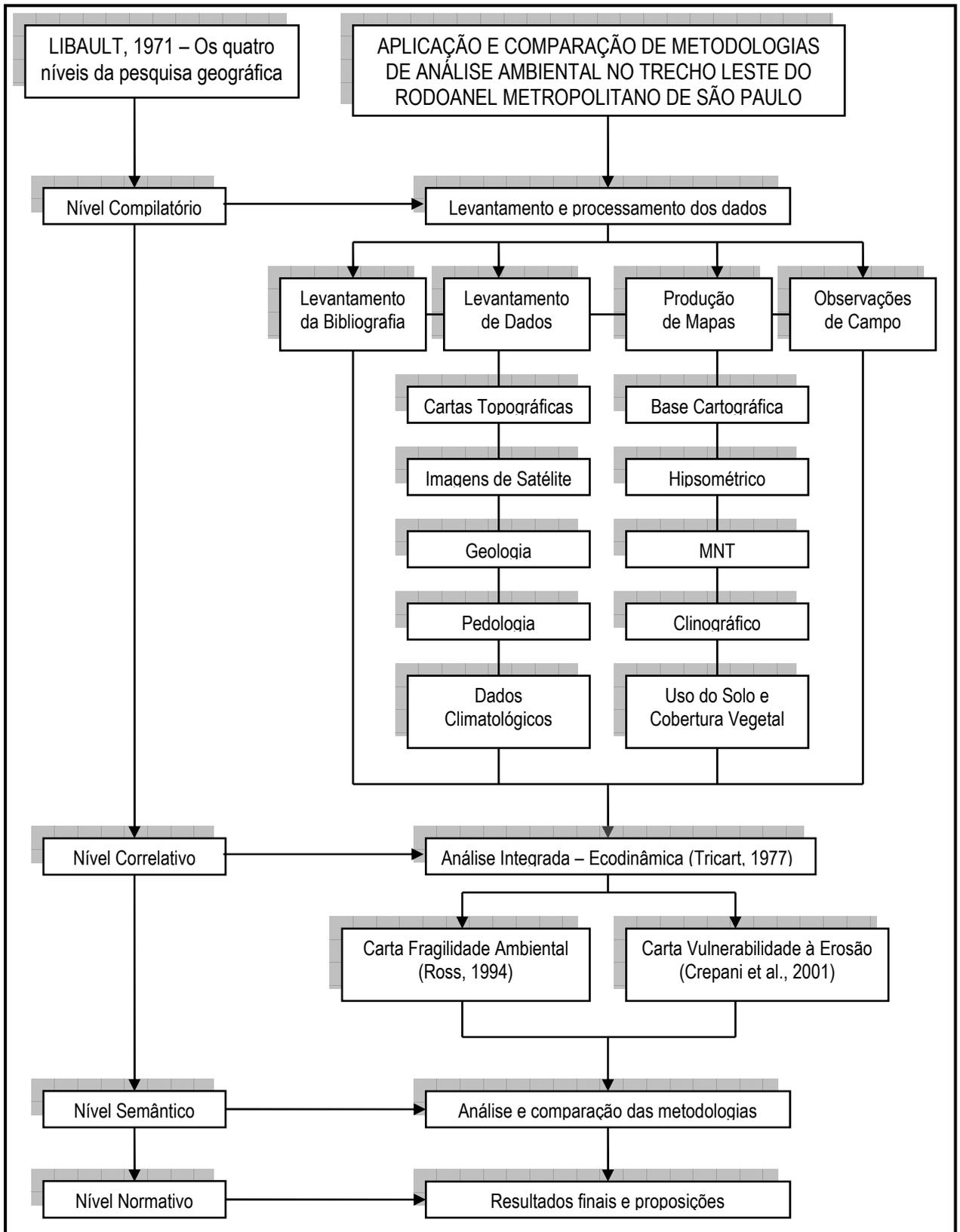


Figura 5: Quadro síntese dos produtos a serem elaborados na Análise Ambiental  
 Fonte: Adaptado de LIBAULT (1971)

## **4.1 NÍVEL COMPILATÓRIO: LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DOS DADOS**

Nesta etapa do estudo foram realizadas pesquisas bibliográficas relativas às metodologias trabalhadas para a geração da carta síntese, além de pesquisas específicas da área de estudo, o Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo.

Também foram levantados dados sobre os temas necessários, ou seja, foram adquiridas as cartas topográficas digitais, imagens de satélite, mapas geológicos e pedológicos, além de informações climatológicas de estações de medição que cobrem a área de estudo.

Com estas informações foram produzidos alguns documentos cartográficos que serão detalhados a seguir, e posteriormente realizadas algumas visitas ao campo como forma de se observar características que os documentos existentes não possibilitavam, além de verificar a verdade terrestre e confrontar com a classificação efetuada sobre as imagens de satélite.

### **4.1.1 Base Cartográfica**

A Base Cartográfica (Figura 6) é composta pelos temas de hidrografia, curvas de nível e pontos cotados retirados das cartas topográficas na escala 1:50000. O tema do Trecho Leste do Rodoanel foi estabelecido com as informações cartográficas do EIA (DERSA, 2008), e tema da localização dos postos pluviométricos foram determinados segundo as informações do Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo.

# RODOANEL LESTE BASE CARTOGRÁFICA

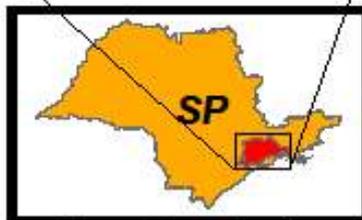
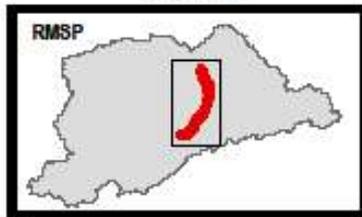
-  Rodoanel Leste
-  Pontos Cotados
-  Curvas de Nivel
-  Hidrografia
-  Posto Pluviométrico

FONTE:  
Folha Itaquaquecetuba SF-23-Y-D-I-3 MI 2768/3  
Folha Mauá SF-23-Y-D-IV-1 MI 2794/1  
Escala: 1:50.000 - IBGE, 1984



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum Vertical: Imbituba-SC  
Datum Horizontal: SAD-69  
Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"  
Organização e Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado  
Data: Julho/2011



Mapa de Localização

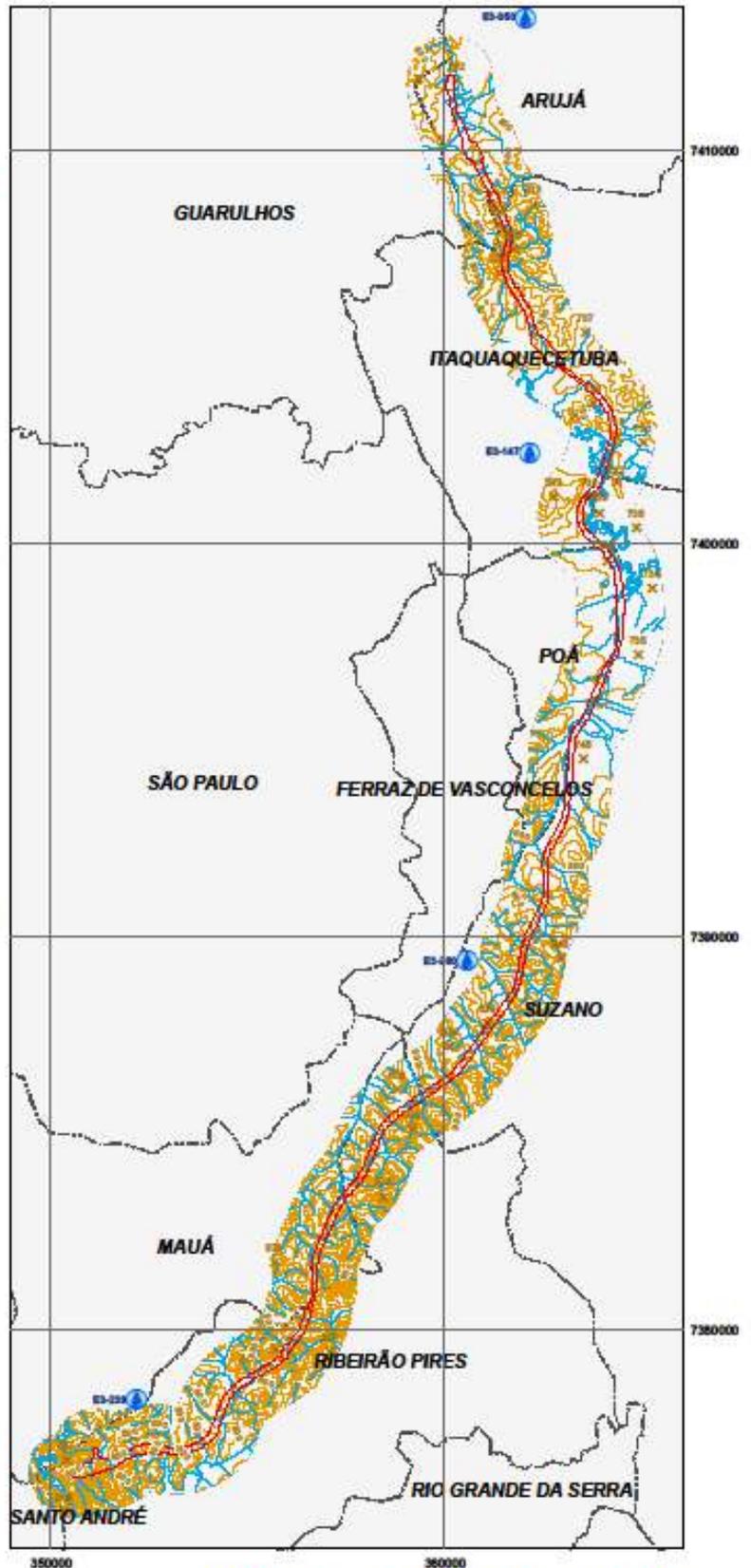


Figura 6 - Base Cartográfica Rodoanel Leste

Foram usadas as cartas topográficas editadas pelo IBGE no ano de 1984, folha Itaquaquetuba SF-23-Y-D-I-3 com MI 2768/3, e folha Mauá SF-23-Y-D-IV-1 com MI 2794/1. Estas cartas estão disponibilizadas pelo IBGE no endereço eletrônico <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas/topograficos/topo50/tif> no formato TIFF (Tagged Image File Format).

Após o georreferenciamento das cartas digitais, as informações necessárias para a confecção da base cartográfica (hidrografia, curvas de nível e pontos cotados) foram vetorizadas pelo processo semi-automático com o software ArcGIS na extensão ArcSCAN. Com a vetorização destes temas foi também permitida a geração da carta hipsométrica e da carta clinográfica, além da criação do modelo numérico do terreno (MNT).

#### **4.1.2 Mapa Hipsométrico**

O Mapa Hipsométrico (Figura 7) foi elaborado a partir do tema de curvas de nível, o qual foi vetorizado das cartas digitais rasterizadas disponibilizadas pelo IBGE.

Levando em consideração as características altimétricas da área de estudo, fez-se a separação nas seguintes classes hipsométricas:

< que 700 metros

700 a 750 metros

750 a 800 metros

800 a 850 metros

850 a 900 metros

> que 900 metros

# RODOANEL LESTE MAPA HIPSOMÉTRICO

## Classes Hipsométricas



 Hidrografia

 Rodoanel Leste

### FONTE:

Folha Itaquaquecetuba SF-23-Y-D-1-3 MI 2768/3

Folha Mauá SF-23-Y-D-IV-1 MI 2794/1

Escala: 1:50.000 - IBGE, 1984



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator

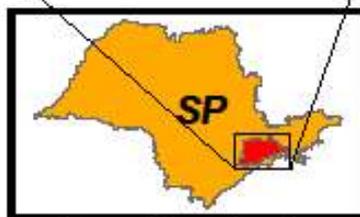
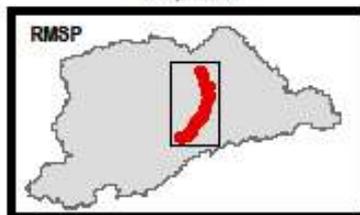
Datum Vertical: Imbituba-SC

Datum Horizontal: SAD-69

Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"

Organização e Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado

Data: julho/2011



Mapa de Localização

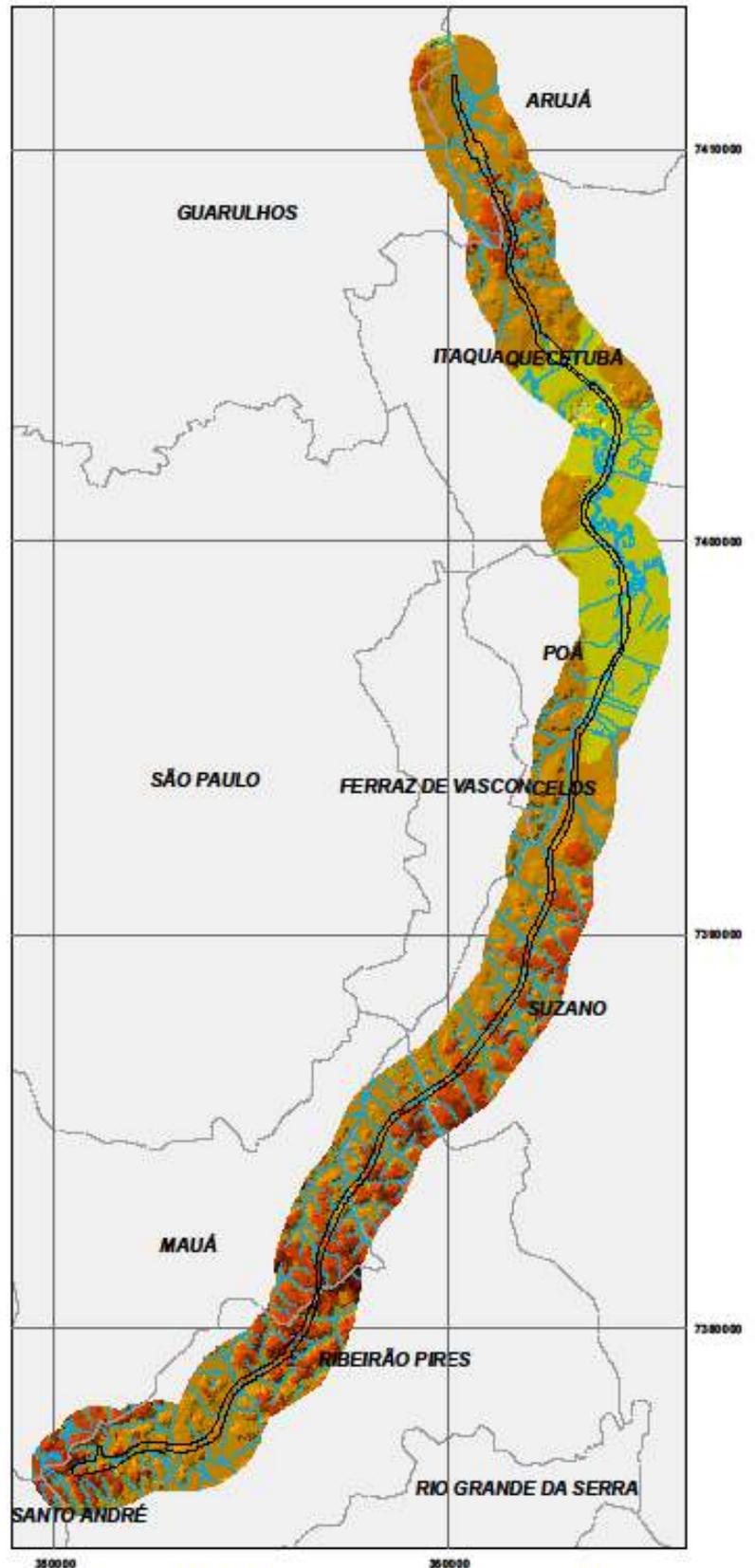


Figura 7 - Mapa Hipsométrico Rodoanel Leste

#### **4.1.3 Modelo Numérico do Terreno**

A partir das informações de hidrografia, curvas de nível e pontos cotados extraídos das cartas topográficas rasterizadas, e vetorizados no software ArcGIS, foi gerado um modelo numérico do terreno que utiliza estruturas contínuas de facetas triangulares ou grades triangulares, denominada Modelo de Rede Irregular Triangular, conhecida pela sigla em inglês TIN (Triangular Irregular Network).

Este tipo de estrutura é do tipo vetorial e é composta por arcos (arestas) e nós (vértices). Para que a complexidade do relevo fosse representada mais adequadamente, além da utilização das isolinhas das curvas de nível, foram incorporadas na estrutura feições complementares que permitem melhorar a sua representação. Assim, utilizou-se das informações dos pontos cotados e da rede hidrográfica para controlar o comportamento da superfície em termos de continuidade e suavização. A geração do Modelo Numérico do Terreno também se efetivou no software ArcGIS.

#### **4.1.4 Carta Clinográfica**

A Carta Clinográfica (Figura 8) é fundamental na identificação e na correlação das declividades com as formas de relevo, e constitui elemento importante na verificação de aptidões e limitações do uso do solo.

O mapa de declividades foi gerado através do Modelo Numérico do Terreno (MNT), o qual foi obtido pela interpolação dos pontos cotados existentes ao longo das curvas de nível, e complementado com os pontos cotados isolados e a hidrografia no formato linear, através do modelo TIN. O modelo numérico obtido

após a triangulação foi reclassificado, de forma a gerar sete classes de declividade, conforme apresentado a seguir:

< que 3%

de 3 a 6%

de 6 a 12%

de 12 a 20%

de 20 a 30%

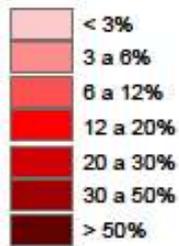
de 30 a 50%

> que 50%

Estas classes seguiram os intervalos baseados em De Biasi (1992) e Ross (1994), as quais são usadas internacionalmente nos mapeamentos dos tipos de solos, normatizados e aplicados no Brasil pela EMBRAPA, IBGE, RADAMBRASIL e outros. Estas classes foram adotadas por serem compatíveis para a análise dinâmica do relevo, e por possibilitarem a identificação das áreas de maior ou menor risco de erosão, de acordo com a característica de fragilidade potencial que são inerentes a cada classe de declividade (SPÖRL, 2007).

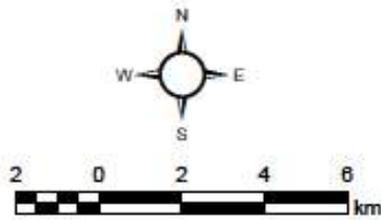
# RODOANEL LESTE CARTA CLINOGRÁFICA

## Classes de Declividade



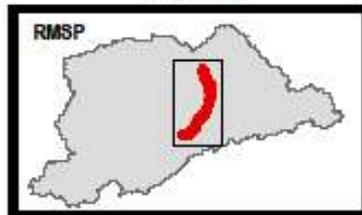
— Rodoanel Leste

Carta Clinográfica elaborada a partir do Modelo de Grade Irregular Triangular (TIN). Os intervalos foram definidos baseados em De Blasi (1992) e Ross (1994), segundo os critérios técnicos de Capacidade de Uso da Terra.



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum Vertical: Imbituba-80  
Datum Horizontal: SAD-69  
Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"  
Organização e Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado  
Data: julho/2011



Mapa de Localização

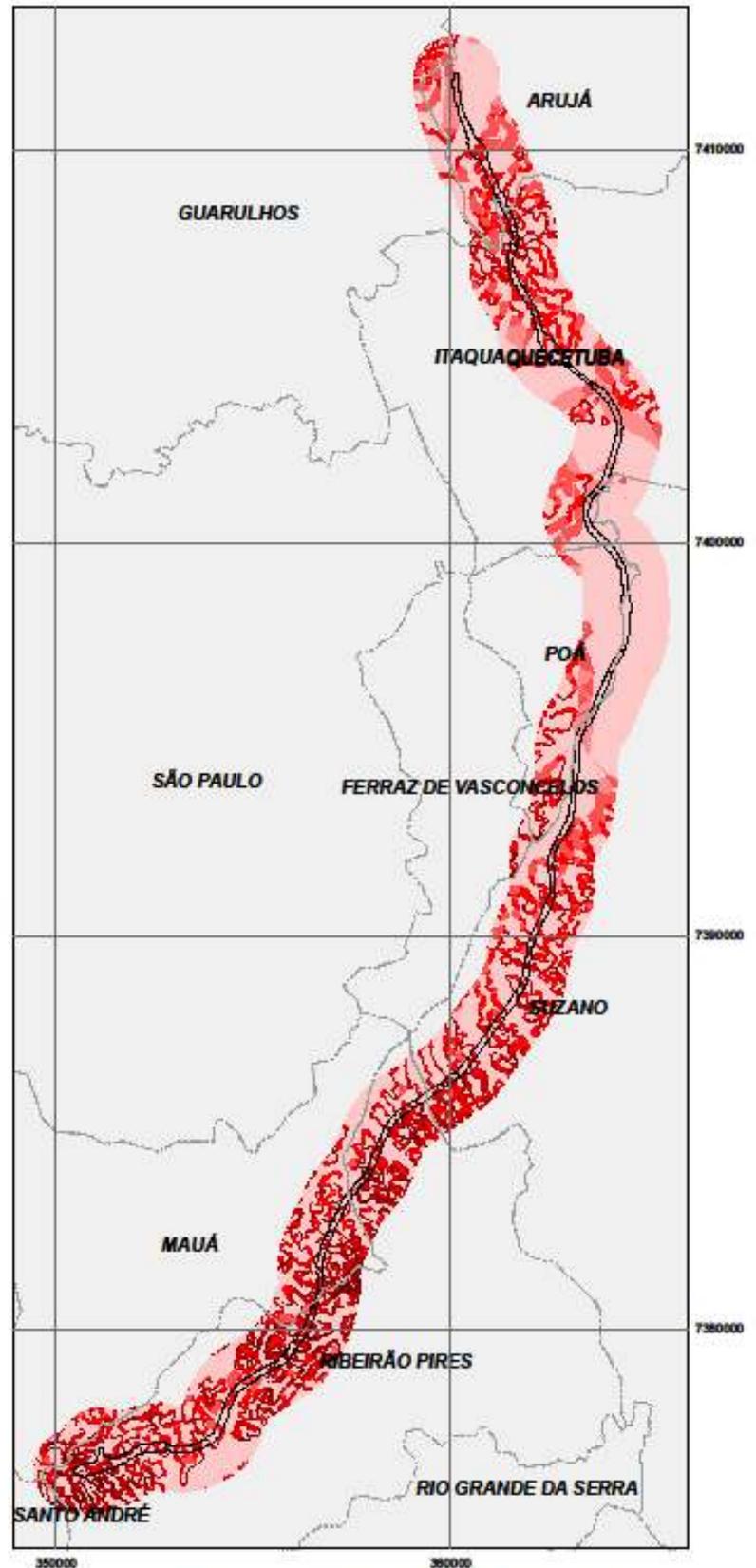


Figura 8 - Carta Clinográfica Rodoanel Leste

#### **4.1.5 Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal**

Identificar e mapear a cobertura vegetal e o uso do solo é um exercício primordial em estudos da paisagem, que vai além do reconhecimento das grandes manchas de uso e ocupação do solo e de sua diferenciação com as manchas de vegetação. É preciso entender, por exemplo, que manchas de vegetação, mesmo parecendo homogêneas em uma primeira observação, compreendem indivíduos com diferentes portes, alturas, cores e tons de cores. De forma semelhante, em uma malha urbana podemos extrair agrupamentos humanos que tenham características similares. Assim, teremos conjuntos ou séries de tipologias de construções, baseadas, por exemplo, no formato, no tamanho, no tipo de material usado ou ainda no tempo de construção (THOMAZIELLO, 2007).

Informações atualizadas sobre o uso do solo e sua distribuição são essenciais para o manejo eficiente dos recursos agrícolas, florestais e hídricos. A caracterização do uso do solo contribui para o entendimento da distribuição das principais atividades econômico-produtivas da região e uma compreensão das inter-relações entre as formas de ocupação e a intensidade dos processos responsáveis pela degradação do meio físico. O levantamento do uso do solo torna-se, então, um aspecto de interesse fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço (SPÖRL, 2007).

Desta forma, foram confeccionadas as Cartas de Uso do Solo e Cobertura Vegetal (Figuras 10 e 11), documentos imprescindíveis e de fundamental importância na elaboração da Carta de Fragilidade / Vulnerabilidade Ambiental segundo as duas metodologias propostas, a de Ross (1994) e de Crepani et al. (2001), que serão discutidas na seqüência do trabalho.

Foram utilizadas para a produção destes mapas temáticos, as imagens dos satélites CBERS 2B-CCD e LANDSAT 5-TM adquiridas junto ao INPE no endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. A justificativa para a escolha de dois sensores distintos, se deve primeiro à proximidade entre eles em relação à resolução espacial (CBERS 20 metros e LANDSAT 30 metros) o que permitiria compará-los em outros aspectos distintos, e a possibilidade de uma maior resolução espectral do LANDSAT 5 (7 bandas) em relação ao CBERS 2B (4 bandas), o que permitiria verificar e comparar as capacidades de cada sensor em relação a uma maior precisão da classificação efetuada, já que segundo Crosta (1992), quanto maior o número de bandas espectrais, maior será a precisão de classificação.

Assim, foram utilizadas as imagens disponibilizadas pelo INPE com o satélite CBERS 2B-CCD, órbita 154 / ponto 126, de 01/09/2009, bandas 1, 2, 3 e 4, fornecidas com correção radiométrica e geométrica associadas com o Sistema de Projeção UTM com Datum SAD-69; e as imagens disponibilizadas pelo INPE com o satélite LANDSAT 5-TM, órbita 219 / ponto 076, de 24/10/2009, bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 (a banda 6 não foi utilizada em virtude da sua resolução espacial de 120 metros), fornecidas com correção radiométrica e geométrica associadas com o Sistema de Projeção UTM com Datum WGS-84.

Estas imagens orbitais foram tratadas digitalmente, melhorando-se a qualidade visual para a extração de informações e posterior classificação. Desta forma, procedeu-se inicialmente ao refinamento da correção geométrica das imagens, gerando uma imagem com a integridade geométrica de um mapa, mas sem as distorções causadas pelo processo de aquisição da imagem, já que foram usados pontos de controle espalhados pelas cartas topográficas, escala 1:50.000, editadas pelo IBGE, folha Itaquaquetuba SF-23-Y-D-I-3 com MI 2768/3, e folha Mauá SF-

23-Y-D-IV-1 com MI 2794/1, ambas no Sistema de Projeção UTM com Datum SAD-69. Após a seleção destes pontos de controle, uma transformação polinomial de 1º grau foi ajustada, e em seguida as imagens foram reamostradas banda a banda com o interpolador vizinho mais próximo. Assim, foi gerado um banco de dados de imagens georreferenciadas no Sistema de Projeção UTM com Datum SAD-69.

Posteriormente as imagens foram realçadas no software ILWIS com o objetivo de facilitar na interpretação e na extração de informações. O primeiro processo realizado foi o contraste linear expandido, que consiste na identificação visual dos menores e maiores registros (valores mínimo e máximo), para estendê-los ou estirá-los por toda a largura da faixa horizontal disponível no histograma.

Depois se procedeu à geração de composições coloridas, técnica de realce que consiste em combinar três imagens diferentes cujos Números Digitais (ND) são coloridos por cores primárias (sistema RGB). Por produzir uma integração dos dados em diferentes bandas espectrais, uma composição colorida aumenta muito a quantidade de informação que pode ser visualizada e interpretada, já que o sistema visual humano pode ver uma gama maior de matizes de cor do que níveis de cinza (CROSTA, 1992).

As composições coloridas geradas foram, para as imagens LANDSAT 5-TM, 5R4G3B e para as imagens CBERS 2B-CCD 2R4G3B. Em relação à composição colorida efetuada sobre as imagens LANDSAT, Crepani et al. (2001), estabelecem que o motivo da escolha desta composição se prende ao fato de que nela os matizes de cores relacionados à vegetação apresentam-se mais “amigáveis” ao intérprete, uma vez que a cor verde é atribuída à banda 4 onde é muito mais evidente a resposta refletida pela vegetação, e assim o fotointérprete faz uma associação direta dos matizes do verde com áreas providas de diferentes

densidades de cobertura vegetal. Os matizes do magenta, resultado da resposta refletida pelo solo arenoso em porcentagem maior nas bandas 3 e 5 (azul + vermelho = magenta), identificam áreas com exposição de solo, ou rocha, com reduzida cobertura vegetal. Os matizes do azul se relacionam à água e seu relativo conteúdo de sedimentos em suspensão.

No que se refere à composição colorida 2R4G3B das imagens CBERS 2B-CCD, esta composição é a que se assemelha mais com a LANDSAT 5R4G3B, já que o satélite CBERS 2B-CCD possui apenas uma banda na região do infravermelho, a banda 4 no infravermelho próximo. Segundo Fitz (2008), na composição falsa-cor CBERS 2B-CCD 2R4G3B, os cursos d'água são destacados com tons violeta escuros, as áreas urbanas apresentam variações de tons verde-violeta, em geral mais claros que os cursos d'água, e a vegetação apresenta coloração esverdeada.

Posteriormente, também com o uso do software ILWIS, foram estabelecidas as classes de uso e cobertura vegetal. Para isso, observou-se a questão da resolução espacial dos sensores analisados, e as características gerais urbanas e vegetacionais da área analisada, verificadas através de visitas a campo e em razão do conhecimento das características da área de trabalho, para identificar os padrões mais representativos dentro das possibilidades da escala de interpretação adotada, levando-se em consideração as diferentes capacidades de proteção fornecidas ao solo por cada tipo de uso. Assim, as classes definidas foram: mata, capoeira / pastagem, solo exposto / mineração, áreas urbanas consolidadas, áreas de expansão urbana e corpos d'água.

Na etapa seguinte, foram realizadas as coletas de amostras de treinamento, efetuadas tanto na composição colorida com as bandas da imagem CBERS, quanto

na composição colorida com as bandas da imagem LANDSAT, através de um processo de classificação digital supervisionada, desenvolvido em função do conhecimento prévio de áreas amostrais obtidas no trabalho de campo, o que permitiu a seleção de áreas de treinamento confiáveis, as quais foram utilizadas para treinar o algoritmo classificador no software ILWIS denominado de *Maximum Likelihood (ML)*, também conhecido como Método da Máxima Verossimilhança ou MAX-VER. O uso deste classificador se deve ao fato de se ter um conhecimento abrangente e detalhado da área pesquisada, já que Crosta (1992) considera que o Método da Máxima Verossimilhança deve ser aplicado quando o analista conhece bem a imagem a ser classificada, para que possa definir classes que sejam representativas.

Assim, para a coleta das amostras de treinamento identificou-se nas composições coloridas das Imagens LANDSAT e CBERS áreas representativas de cada classe temática estabelecida anteriormente, onde foram delimitadas áreas homogêneas (amostras) para o reconhecimento dos padrões das classes de uso. O programa, através do classificador MAX-VER realizou a classificação considerando um limiar de aceitação de 99%, resultando nos dois mapas de uso do solo e cobertura vegetal, um gerado sobre a classificação digital efetuada sobre as 4 bandas da imagem CBERS, e outro sobre as 6 bandas da imagem LANDSAT.

Para avaliar a exatidão da classificação foi necessário comparar o mapa obtido através da classificação dos dados de sensor com dados de referência ou verdade de campo. A relação entre estes dois conjuntos geralmente é resumida em uma matriz de confusão ou tabela de contingência. A matriz de erros ou de confusão identifica o erro global da classificação para cada categoria, mostrando também como se deram as confusões entre as categorias (BRITES et al., 1996).

Tabela 4 – Matriz de Erros: bandas do sensor CBERS - CCD

EXATIDÃO GLOBAL 73% ÍNDICE KAPPA 0,65		CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA – IMAGENS CBERS (n° pixels)						EXATIDÃO DO PRODUTOR
		MATA	CAPOEIRA PASTAGEM	CORPOS D'AGUA	URBANO CONSOLIDADO	EXPANSÃO URBANA	SOLO EXPOSTO MINERAÇÃO	
V E R D A D E  D E  C A M P O	MATA	232907	118094	42	0	0	0	66%
	CAPOEIRA PASTAGEM	0	303975	0	159	6166	0	98%
	CORPOS D'AGUA	18	64	6440	0	99	0	97%
	URBANO CONSOLIDADO	0	665	0	317768	4364	0	98%
	EXPANSÃO URBANA	1232	184333	2905	96277	358025	8773	55%
	SOLO EXPOSTO MINERAÇÃO	0	2	0	7956	29841	32696	46%
	EXATIDÃO DO USUÁRIO	99%	50%	69%	75%	90%	79%	

Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado

Tabela 5 – Matriz de Erros: bandas do sensor LANDSAT-TM

EXATIDÃO GLOBAL 83% ÍNDICE KAPPA 0,78		CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA – IMAGENS LANDSAT (n° pixels)						EXATIDÃO DO PRODUTOR
		MATA	CAPOEIRA PASTAGEM	CORPOS D'AGUA	URBANO CONSOLIDADO	EXPANSÃO URBANA	SOLO EXPOSTO MINERAÇÃO	
V E R D A D E  D E  C A M P O	MATA	137295	1058	0	0	370	0	99%
	CAPOEIRA PASTAGEM	7270	139206	0	266	17240	725	85%
	CORPOS D'AGUA	76	0	2534	362	6	0	85%
	URBANO CONSOLIDADO	0	1	1	183487	48706	14	79%
	EXPANSÃO URBANA	5751	31270	3	4258	149141	3797	77%
	SOLO EXPOSTO MINERAÇÃO	2	23	463	1232	4710	22801	78%
	EXATIDÃO DO USUÁRIO	91%	81%	84%	97%	68%	83%	

Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado

Em termos de comparação qualitativa, ao analisar as diferenças entre os resultados das matrizes de erros das classificações, verifica-se que a classificação efetuada sobre as bandas das imagens LANDSAT apresentou valores de exatidão global e de índice kappa melhores do que a classificação efetuada sobre as bandas das imagens CBERS.

O índice kappa permite a avaliação da qualidade do mapa temático gerado, permitindo comparar entre diferentes classificações, como também é adequado na determinação da utilização deste mapa integrado com outros mapas em um SIG. Isto se deve ao fato, do índice kappa levar em consideração toda a matriz de erros no seu cálculo, inclusive os elementos de fora da diagonal principal, os quais representam as discordâncias na classificação, diferentemente da exatidão global, que é definida pela soma dos elementos da diagonal da matriz dividida pelo número total da amostra, utilizando somente os elementos diagonais da matriz (BRITES et al., 1996).

Segundo a classificação de qualidade associada aos valores kappa (Figura 9) apontada por Landis e Koch (1977 apud GIANNOTTI, 2003), ambas as classificações supervisionadas foram consideradas muito boas.

VALOR KAPPA	QUALIDADE DA CLASSIFICAÇÃO
0,00	PÉSSIMA
0,01 – 0,20	RUIM
0,21 – 0,40	RAZOÁVEL
0,41 – 0,60	BOA
0,61 – 0,80	MUITO BOA
0,81 – 1,00	EXCELENTE

Figura 9: Qualidade das Classificações em relação ao KAPPA

Fonte: Landis e Koch (1977 apud GIANNOTTI, 2003)

No entanto, ao analisar as categorias temáticas isoladas, através dos valores da exatidão do usuário, que se referem às porcentagens de semelhança com a verdade de campo na definição da classe temática nas classificações efetuadas, é possível obter uma análise mais rigorosa.

Assim, observa-se nas matrizes de erros das classificações (Tabelas 4 e 5) que, dos *pixels* classificados como Capoeira/Pastagem na classificação efetuada sobre as bandas das imagens CBERS, apenas metade é realmente esta classe, a outra metade basicamente, pertencem as classes de Mata ou Expansão Urbana. Esta confusão pode ser explicada em razão dos limites da classe Mata serem reconhecidas pelo classificador como Capoeira, e os limites da classe Expansão Urbana como Pastagem, ou seja, nas áreas onde ocorrem transições entre estas classes há uma resposta espectral que possibilita que um pixel tenha igual probabilidade de pertencer às duas classes.

Já na classificação realizada sobre as bandas do sensor LANDSAT, os maiores erros ocorreram na classe Expansão Urbana, onde em torno de um terço dos pixels classificados como esta categoria, eram na verdade de campo classes de Urbano Consolidado ou Capoeira/Pastagem. Da mesma forma que observado na classificação CBERS, as confusões também dizem respeito aos limites da classe Expansão Urbana, ou seja, as transições desta classe que podem ser confundidas com Pastagem ou com as áreas de Urbano Consolidado, possibilitando que o pixel seja classificado como uma ou outra classe.

Para as outras classes temáticas, observa-se em termos gerais, na matriz de erros LANDSAT, valores percentuais maiores que 80%, permitindo que esta classificação obtivesse um índice kappa de 0,78, bem melhor que o índice de 0,65 obtido pela classificação supervisionada sobre as bandas da imagem CBERS.

No que se refere à distribuição em termos de área das classes temáticas trabalhadas em cada uma das classificações efetuadas, verifica-se que conforme Tabela 6, em torno de metade do território analisado é coberto por Capoeiras e Pastagens, vindo em seguida as classes de Expansão Urbana e Mata. No entanto, estas duas últimas possuem diferenças expressivas ao se comparar as classificações. Enquanto na classificação CBERS, as duas classes apresentam valores muito próximos; na classificação LANDSAT, a classe de Expansão Urbana exibe quase o dobro da área de Mata. Uma outra divergência expressiva foi observada na classe Corpos D'água, onde a classificação LANDSAT conseguiu obter uma área três vezes e meia maior que a encontrada pela classificação CBERS.

Tabela 6 – Classificações CBERS e LANDSAT: quantificação da área das classes temáticas em km<sup>2</sup>

<b>CLASSES TEMÁTICAS</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO CBERS</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO LANDSAT</b>
<i>MATA</i>	18,5 km <sup>2</sup>	14,9 km <sup>2</sup>
<i>CAPOEIRA / PASTAGEM</i>	51,2 km <sup>2</sup>	47,5 km <sup>2</sup>
<i>URBANO CONSOLIDADO</i>	6,9 km <sup>2</sup>	4,2 km <sup>2</sup>
<i>EXPANSÃO URBANA</i>	18,6 km <sup>2</sup>	27,5 km <sup>2</sup>
<i>SOLO EXPOSTO / MINERAÇÃO</i>	2,0 km <sup>2</sup>	1,6 km <sup>2</sup>
<i>CORPOS D'ÁGUA</i>	0,6 km <sup>2</sup>	2,1 km <sup>2</sup>
<b>TOTAL</b>	<b>97,8 km<sup>2</sup></b>	<b>97,8 km<sup>2</sup></b>

Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado

Segundo Anjos et al. (2011), as imagens do sensor CCD/CBERS-2B apesar de serem as imagens com melhor resolução espacial nominal (20m) em relação às imagens do sensor TM/LANDSAT-5, são as que apresentam o menor detalhamento devido ao efeito de borramento, além de apresentar na banda 1 ruídos facilmente identificados a olho nu, possuindo assim, uma qualidade radiométrica inferior e apresentando uma imagem com menor quantidade de informações de detalhe.

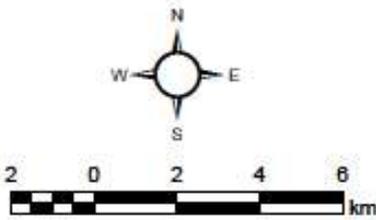
Assim, em virtude da qualidade radiométrica superior, e por ter obtido valores de exatidão global e de índice kappa melhores na matriz de erros, a Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal obtida pela classificação com as bandas da imagem LANDSAT foi escolhida para compor as cartas síntese de Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade à Erosão, que serão detalhadas mais à frente.

As Cartas de Uso do Solo e Cobertura Vegetal elaboradas através das classificações efetuadas sobre as bandas dos sensores LANDSAT e CBERS (Figuras 10 e 11) podem ser visualizadas a seguir:

# RODOANEL LESTE CARTA de USO do SOLO e COBERTURA VEGETAL (CBERS-2B)

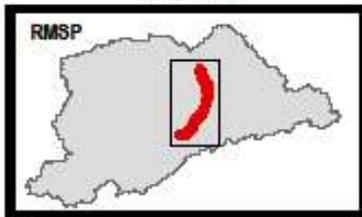
- Mata (18,5 km<sup>2</sup>)
- Capoeira / Pastagem (51,2 km<sup>2</sup>)
- Urbano Consolidado (6,9 km<sup>2</sup>)
- Expansão Urbana (18,6 km<sup>2</sup>)
- Solo Exposto / Mineração (2,0 km<sup>2</sup>)
- Corpos D'água (0,6 km<sup>2</sup>)
- Rodoanel Leste

Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal elaborada a partir de uma Imagem CBERS 2B - CCD 154/126 Bandas 1, 2, 3 e 4 - Data de Passagem: 01/09/2009



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum Vertical: Imbituba-80  
Datum Horizontal: SAD-69  
Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"  
Organização e Elaboração: Carlos Roberto Ubonati Machado  
Data: julho/2011



Mapa de Localização

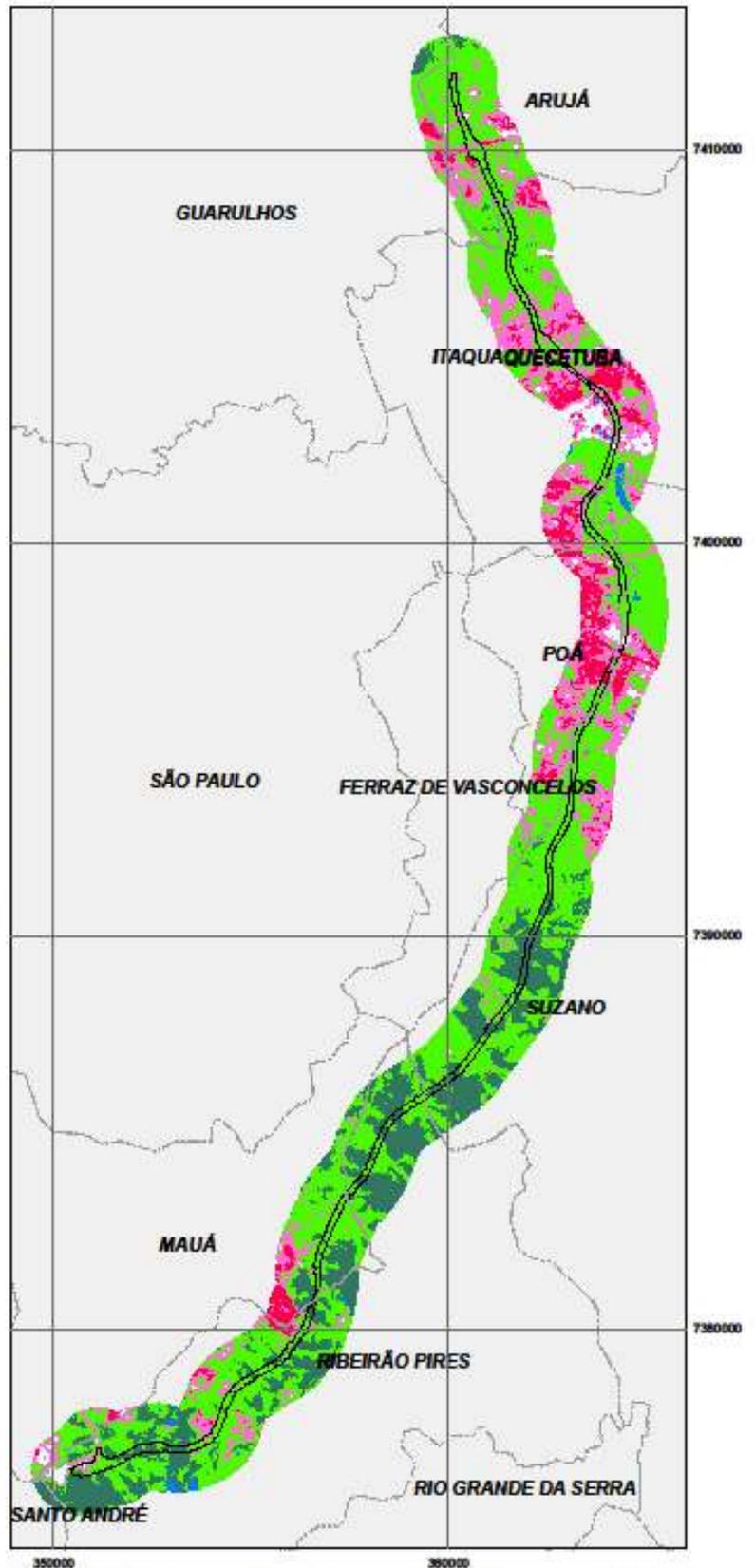


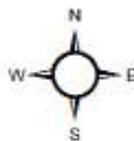
Figura 10 - Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal - Rodoanel Leste - Cbers 2B

# RODOANEL LESTE CARTA de USO do SOLO e COBERTURA VEGETAL (LANDSAT-5)

-  Mata (14,9 km<sup>2</sup>)
-  Capoeira / Pastagem (47,5 km<sup>2</sup>)
-  Urbano Consolidado (4,2 km<sup>2</sup>)
-  Expansão Urbana (27,5 km<sup>2</sup>)
-  Solo Exposto / Mineração (1,6 km<sup>2</sup>)
-  Corpos D'agua (2,1 km<sup>2</sup>)

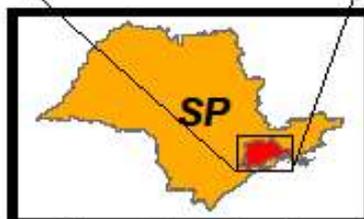
— Rodoanel Leste

Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal elaborada a partir de uma imagem LANDSAT 5 - TM 219/076 Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 - Data de Passagem: 24/10/2009



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum Vertical: Imbituba-0C  
Datum Horizontal: SAD-69  
Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"  
Organização e Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado  
Data: julho/2011



Mapa de Localização

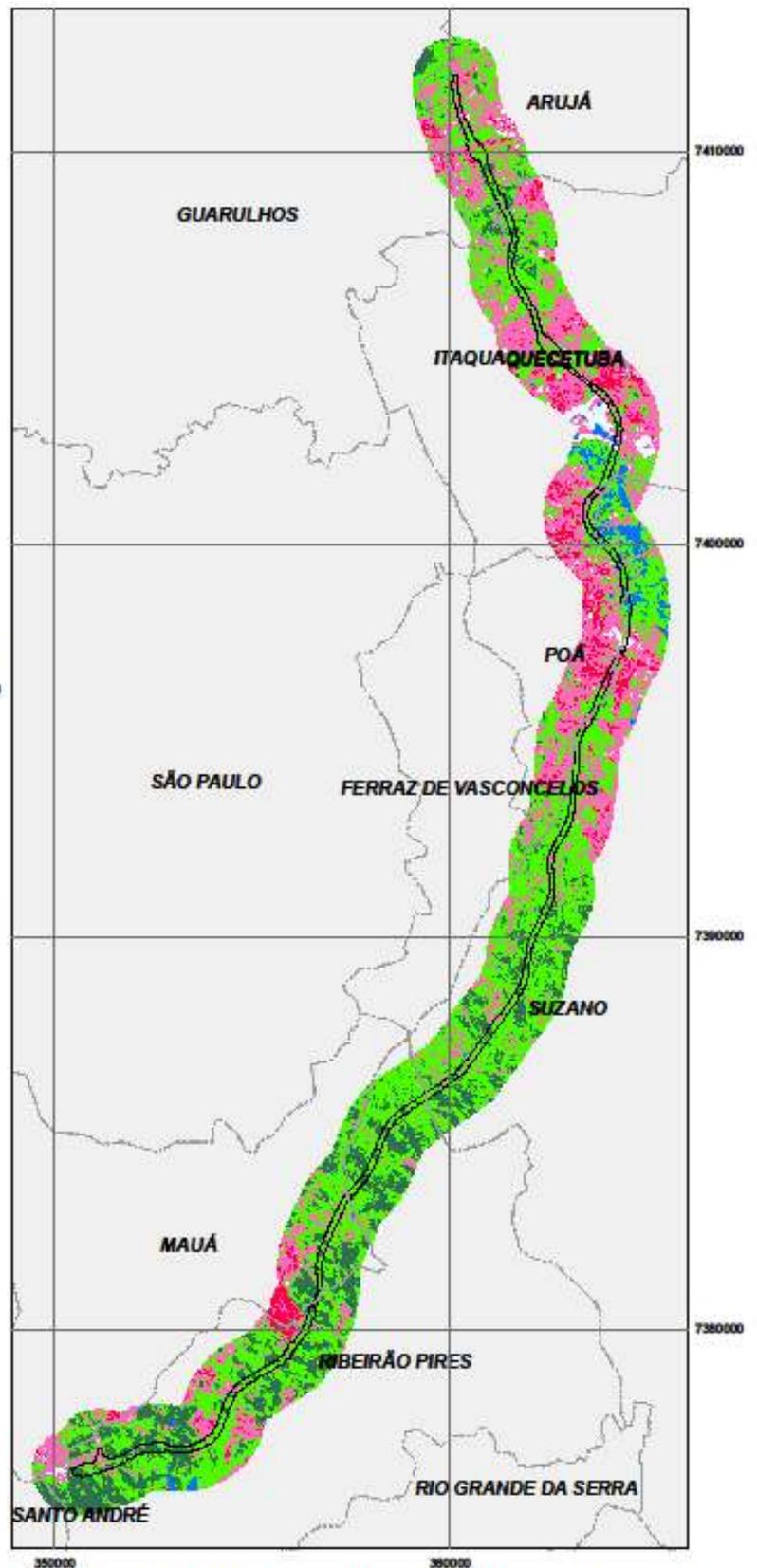


Figura 11 - Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal - Rodoanel Leste - Landsat 5

#### 4.1.6 Mapa Geológico

O Mapa Geológico (Figura 12) foi elaborado a partir das informações extraídas da Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo na escala 1:100.000, editada pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A - EMPLASA no ano de 1980.

Neste mapa é possível observar que a área no entorno do eixo do futuro Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo, possui seis principais classes litológicas de duas eras geológicas distintas.

Do Pré-Cambriano, temos rochas metamórficas intensamente dobradas e falhadas, e rochas ígneas; as classes observadas são: **pCAgg**, que correspondem na sua grande maioria de granitos e granodioritos; **pCAmg**, rochas do tipo migmatitos e gnaisses graníticos; **pCAmx**, classe composta por micaxistos, meta-arenito e xistos; e **pCAam**, formada por anfibolitos e matabasitos.

De uma era geológica mais recente, o Cenozóico, formada por rochas sedimentares temos duas classes, do período Terciário – Quaternário se encontra a classe **TQa**, formada por argilas, areias e cascalhos de duas formações, a São Paulo e a Caçapava; e a classe **Qa** do período Quaternário, correspondendo aos aluviões fluviais compostos de areias, argilas e cascalhos.

Em termos gerais, a fragilidade das rochas sedimentares encontradas nas formações Quaternárias e Terciárias é muito alta em virtude, por exemplo, do baixo grau de coesão e compactação dos minerais que as compõem. Diversamente, as rochas cristalinas formadas no Pré-Cambriano, apresentam diferentes fragilidades que vão de baixa a média. Os granitos, por exemplo, apresentam uma baixa fragilidade explicada pela distribuição homogênea dos minerais em sua estrutura, que oferece menor densidade de linhas de fraqueza para os ataques químicos da

água. Já os migmatitos e micaxistos, por possuírem minerais menos resistentes ao intemperismo químico, inúmeras linhas de fraqueza decorrentes de bandeamentos, contatos mineralógicos e fraturas, tem uma fragilidade maior que os granitos (CREPANI et al., 2001).

#### **4.1.7 Mapa Pedológico**

Este mapa teve como fonte principal os dados provenientes do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000, produzido pelo Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, no ano de 1999, já que não haviam mapas mais detalhados da área.

Com o objetivo de aumentar a consistência entre os mapas utilizados e ajustar a escala de origem para a escala de trabalho, foram efetuadas ajustes geométricos nos limites entre as classes pedológicas. Estes ajustes se basearam nas informações auxiliares de hipsometria, padrão de drenagem, geologia e declividade, informações estas compiladas de documentos mais detalhados.

Conforme Spörl (2007) e Kawakubo (2005), na impossibilidade de uso de informações detalhadas na delimitação das unidades de tipos de solos, faz-se necessário uma reinterpretação dos mapas preexistentes, e com o auxílio de outros temas mais detalhados, se readequam geometricamente as classes existentes e mapeadas do mapa de referência.

Desta forma, no Mapa Pedológico (Figura 13) foram estabelecidas três tipologias pedológicas, os Argissolos Vermelho-Amarelos que se subdividem nas classes PVA-45 e PVA-55, os Latossolos Vermelho-Amarelos classe LVA-14, e os Cambissolos Háplicos classe CX-1.

# RODOANEL LESTE MAPA GEOLÓGICO

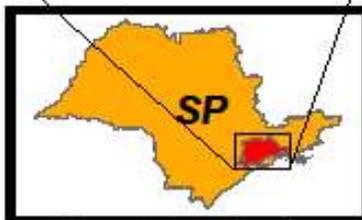
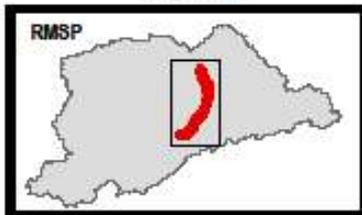
- Qa  
Aluviões fluviais: argila, areia e cascalho
- TQa  
Argilas, areias e cascalhos da Formação São Paulo e Cagapeva, inclui depósitos eluvio-colúvies correlatos
- pGA<sub>gg</sub>  
Granitos e granodioritos normais ou em perlas graníticos, equigranulares ou porfiróides
- pGA<sub>mg</sub>  
Migmatitos e gnaioses graníticas, gnaioses miloníticas em zonas de movimentação tectónica intensificada
- pGA<sub>mx</sub>  
Micasisto e/ou meta-arenito de medio grau metamórfico, xistos miloníticos em zonas de movimentação tectónica
- pGA<sub>am</sub>  
Anfibolitos, metabasitos (melafibrosio, melagebro)
- Rodoanel Leste

FONTE:  
Carta Geológica da Região Metropolitana da Grande São Paulo - Escala 1:100.000  
Empiassa, 1980



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum Vertical: Imbituba-0C  
Datum Horizontal: SAD-69  
Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"  
Organização e Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado  
Data: julho/2011



Mapa de Localização

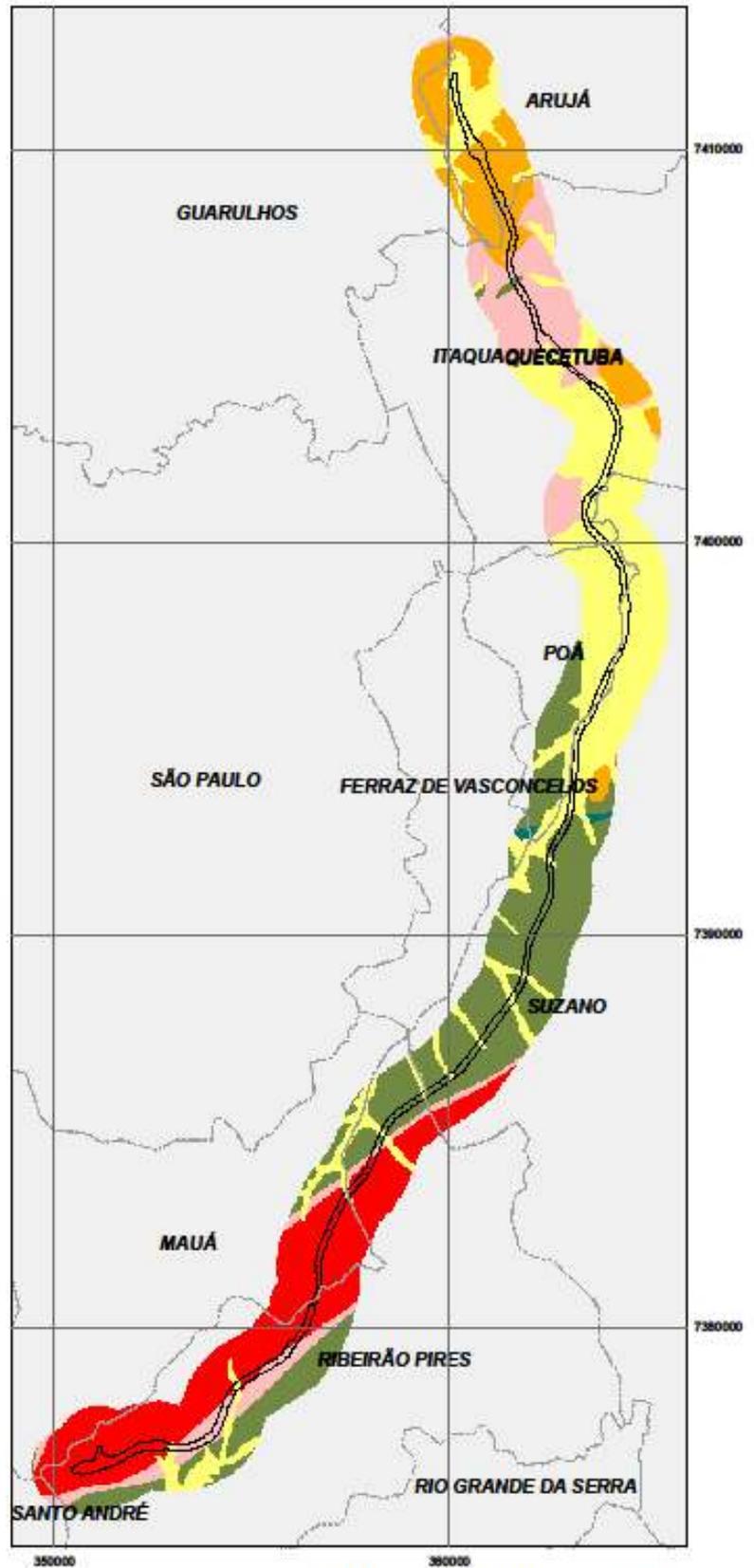
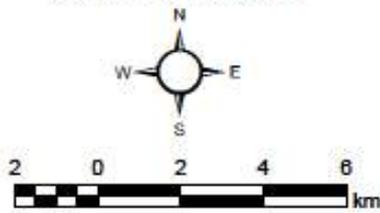


Figura 12 - Mapa Geológico Rodoanel Leste

# RODOANEL LESTE MAPA PEDOLÓGICO

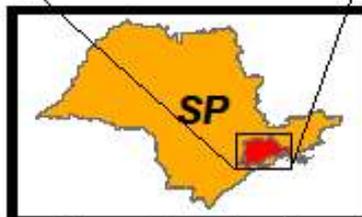
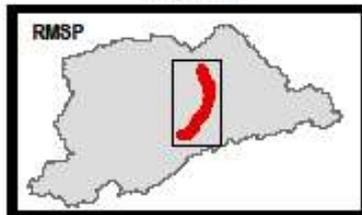
- PVA 45 - ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS**  
 Distróficos text. argilosa e média/argilosa rel. forte ondulado e montanhoso + CAMBISSOLOS HÁPLICOS Distróficos text. argilosa rel. montanhoso ambos A moderado
  
- PVA 55 - ARGISSOLOS VERMELHO-AMARELOS**  
 Distróficos text. argilosa e média/argilosa fase não rochosa e rochosa rel. forte ondulado + LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS Distróficos text. argilosa rel. forte ondulado e montanhoso ambos A moderado
  
- LVA 14 - LATOSSOLOS VERMELHO-AMARELOS**  
 Distróficos A moderado e proeminente rel. ondulado e suave ondulado + CAMBISSOLOS HÁPLICOS Distróficos A moderado rel. ondulado e suave ondulado ambos text. argilosa
  
- CX 1 - CAMBISSOLOS HÁPLICOS**  
 Distróficos A moderado textura argilosa relevo forte ondulado
  
- Rodoanel Leste

FONTE:  
 Mapa Pedológico do Estado de São Paulo  
 Escala 1:500.000 - IAC - Instituto  
 Agronômico de Campinas, 1999



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
 Datum Vertical: Imbituba-80  
 Datum Horizontal: SAD-69  
 Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"  
 Organização e Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado  
 Data: julho/2011



Mapa de Localização

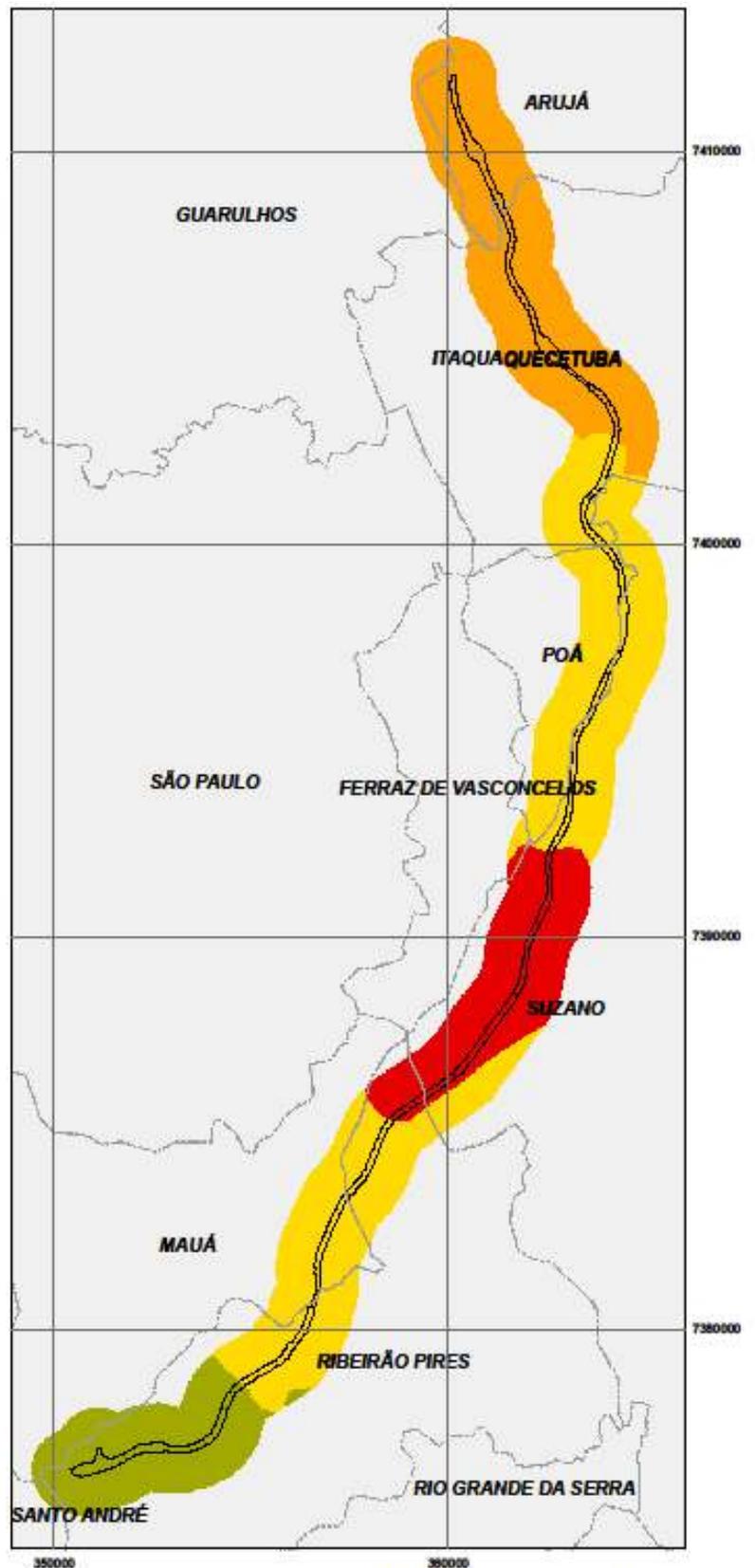


Figura 13 - Mapa Pedológico Rodoanel Leste

#### 4.1.8 Dados Climatológicos

Na análise da fragilidade ambiental da área de estudo é de fundamental importância as informações climatológicas, principalmente sobre as chuvas, em função da sua ação direta na dinâmica ambiental, contribuindo para o entendimento do processo de intemperismo de rochas e solos, da distribuição da cobertura vegetal e do comportamento do regime hídrico dos rios (CREPANI et al., 2001).

Para subsidiar estas análises, foram coletados dados sobre a intensidade das chuvas de quatro postos pluviométricos distribuídos pela área no entorno do futuro Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano, cuja localização pode ser visualizada na Base Cartográfica (Figura 6). Buscou-se também analisar os dados disponíveis mais recentes e em um período de tempo suficiente para que possíveis anormalidades na distribuição anual das chuvas fossem minimizadas.

De acordo com a amostra de dados, foi verificado que os totais anuais de chuva ficam entre 1400 mm e 1500 mm, sendo que a duração predominante do período chuvoso é de 9 meses, indo de setembro até maio com precipitação média neste período entre 1300 mm e 1350 mm, ou seja, em média 92% do precipitado anualmente, denotando uma intensidade pluviométrica muito alta.

Como os dados amostrados são similares nos quatro postos pluviométricos, e como a sua distribuição espacial recobre e se distribui equilibradamente por todo o Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano, foi estabelecida que as mesmas condições climatológicas foram usadas para toda a área na definição dos mapeamentos síntese de Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade à Erosão.

Estes dados de precipitação, obtidos junto ao Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE no endereço eletrônico <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu>, podem ser observados nos gráficos abaixo:

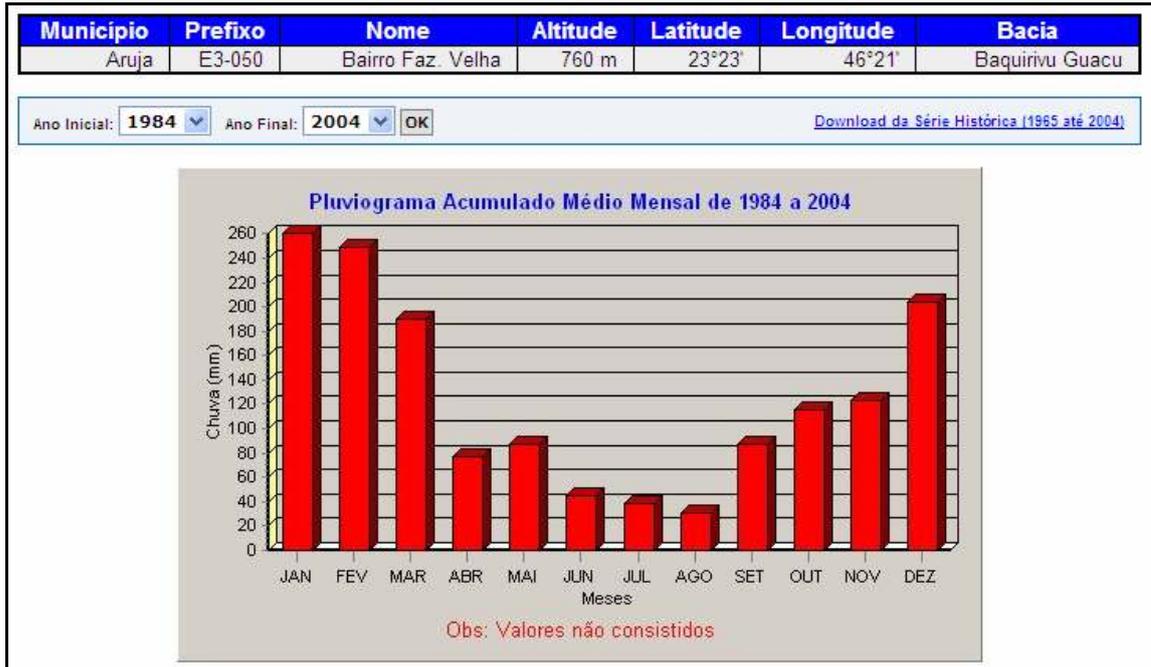


Gráfico 1: Pluviograma Acumulado Médio Mensal de 1984 a 2004 – Posto E3-050  
 Fonte: Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo - DAEE

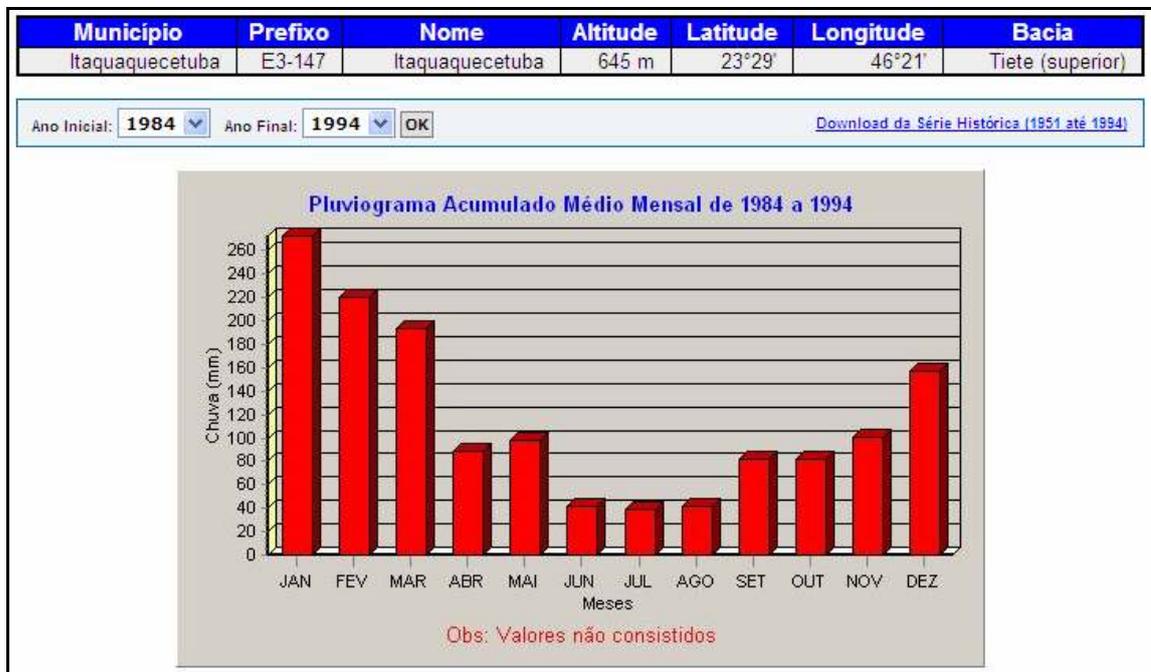


Gráfico 2: Pluviograma Acumulado Médio Mensal de 1984 a 1994 – Posto E3-147  
 Fonte: Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo - DAEE

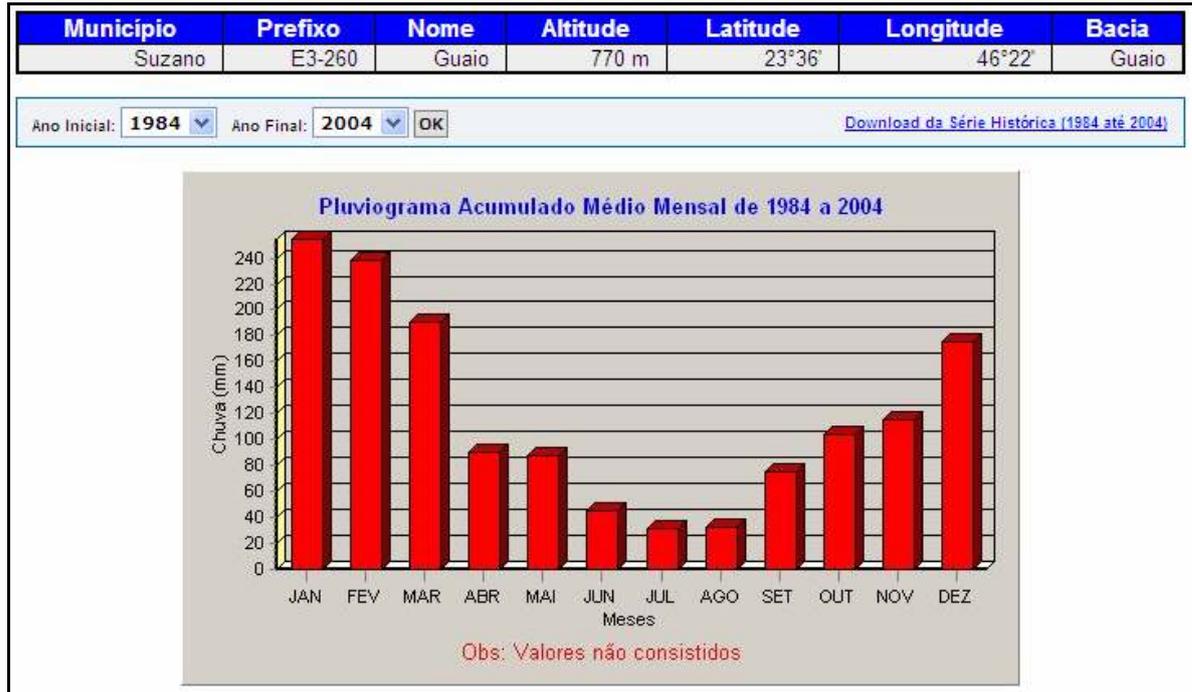


Gráfico 3: Pluviograma Acumulado Médio Mensal de 1984 a 2004 – Posto E3-260  
 Fonte: Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo - DAEE

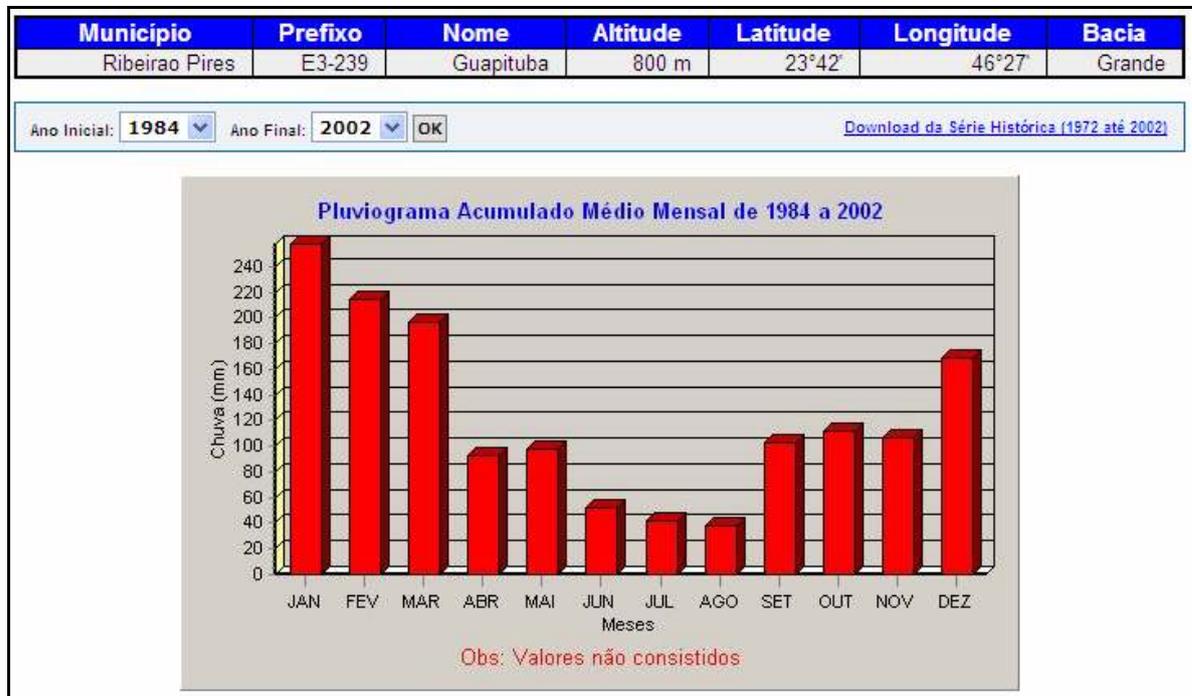


Gráfico 4: Pluviograma Acumulado Médio Mensal de 1984 a 2002 – Posto E3-239  
 Fonte: Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo - DAEE

## 4.2 NÍVEL CORRELATIVO: CARTA SÍNTESE DE FRAGILIDADE AMBIENTAL

Após a compilação das informações analíticas da fragilidade ambiental na primeira etapa, englobando dados referentes à topografia, uso do solo, cobertura vegetal, geologia, relevo, solos e clima, foi feita a correlação dos mapeamentos intermediários para que se efetuasse uma análise ambiental integrada e fossem elaboradas as cartas síntese de Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade à Erosão.

Os documentos de síntese foram combinados usando os modelos matriciais, que possibilita com maior facilidade a álgebra de mapas, sendo considerado um modelo adequado para as análises ambientais (CÂMARA et al., 2001). Em virtude da utilização da imagem LANDSAT, que possui uma resolução espacial de 30 metros, no processo de criação da Carta de Uso do Solo e Cobertura Vegetal, as cartas de síntese de Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade à Erosão foram geradas com *pixel* também de 30 metros.

Desta forma, de acordo com a proposta do presente trabalho, foram aplicadas na geração das cartas de síntese, duas propostas metodológicas: a Metodologia de Fragilidade Ambiental baseado nas Classes de Declividade (ROSS, 1994), e a Metodologia de Vulnerabilidade à Erosão baseado nas Unidades Territoriais Básicas (CREPANI et al., 2001).

A seguir, são destacadas as duas metodologias mencionadas acima. Ambas vêm sendo utilizadas na elaboração de zoneamentos ambientais, mais especificamente no Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), como definido institucionalmente. O Programa Nacional de Zoneamento Ecológico-Econômico – ZEE, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, é um instrumento técnico e político de planejamento do uso e da ocupação do território, visando ao

desenvolvimento sustentável. Ele subsidia, de forma efetiva, o processo de tomada de decisão pelos diferentes gestores públicos dos níveis Federal, Estadual e Municipal (FLORENZANO, 2008).

#### **4.2.1 Metodologia de Fragilidade Ambiental Baseado nas Classes de Declividade (ROSS, 1994)**

Ross (1994) propôs uma metodologia para a geração de uma carta-síntese que representa a fragilidade do terreno em cinco categorias hierárquicas: 1. Muito Fraca; 2. Fraca; 3. Média; 4. Forte; 5. Muito Forte. Na carta-síntese, a área estudada é classificada em Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis, com diferentes graus (muito fraca a muito forte) de Instabilidade Potencial e Emergente. Essa carta é obtida a partir da elaboração e integração, por meio de um SIG, das cartas temáticas de Geomorfologia, Geologia, Pedologia, Climatologia e Uso da Terra / Vegetação. As variáveis temáticas dessas cartas também são classificadas em cinco categorias hierárquicas, de acordo com sua fragilidade (ver Tabelas 7 a 10).

Em relação ao tema Geomorfologia, para análises mais detalhadas, Ross (1994) recomenda a utilização das classes de fragilidade, que apresentam uma classificação mais minuciosa. Neste caso, deve-se utilizar os intervalos de classes já consagrados nos estudos de Capacidade de Uso / Aptidão Agrícola associados com aqueles conhecidos como valores limites críticos da geotecnia, indicativos respectivamente do vigor dos processos erosivos, dos riscos de escorregamentos / deslizamentos e inundações freqüentes.

Deste modo estas classes são: < 3%, 3 a 6%, 6 a 12%, 12 a 20%, 20 a 30%, 30 a 50% e > 50%. Sendo as classes de declividade de até 6% muito baixas, se estabelece um arranjo das classes de declividade segundo categorias hierárquicas, conforme pode ser visto abaixo:

Tabela 7 – Grau de Fragilidade das Classes de Declividade

<b>Fragilidade</b>	<b>Declividades</b>
Muito Fraca	até 6%
Fraca	de 6 a 12%
Média	de 12 a 20%
Forte	de 20 a 30%
Muito Forte	acima de 30%

Fonte: Ross (1994).

Os critérios utilizados para a variável solo passam pelas características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas e profundidade / espessura dos horizontes. Baseado em Ross (1994), as classes de fragilidade ou de erodibilidade dos solos, considerando o escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais podem assim ser agrupados segundo as classes de fragilidade abaixo:

Tabela 8 – Grau de Fragilidade das Classes de Solos

<b>Fragilidade</b>	<b>Tipos de Solo</b>
Muito Baixa	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho escuro e Vermelho amarelo textura argilosa.
Baixa	Latossolo Amarelo e Vermelho amarelo textura média/argilosa
Média	Latossolo Vermelho amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho-amarelo textura média/argilosa
Forte	Podzólico Vermelho-amarelo textura média/arenosa. Cambissolos.
Muito Forte	Podzolizados com cascalho, Litólicos e Areias Quartzosas

Fonte: Ross (1994).

Já a análise da proteção dos solos pela cobertura vegetal passa pela construção da Carta de Uso da Terra e de Cobertura Vegetal, resultante dos estudos de gabinete, no processamento e interpretação das imagens do Sensoriamento Remoto, e nas verificações no campo.

Nas interpretações das imagens de satélite, identifica-se manchas dos diferentes tipos de usos, tais como: matas naturais, capoeiras, bosques de silvicultura, culturas de ciclo longo, culturas de ciclo curto, pastos naturais, pastos cultivados entre outros. Quando se tratar de áreas urbanizadas é preciso distinguir os padrões de urbanização quanto à impermeabilização, as áreas verdes, a infraestrutura como canalização das águas pluviais, asfaltamento, guias e sarjetas, padrões das edificações, entre outros. (ROSS, 1994).

Neste sentido, Ross (1994) estabeleceu através de estudos realizados alguns tipos de cobertura vegetal e seus respectivos graus de proteção. Como o autor não definiu em sua proposta tipologias de uso da terra de áreas urbanas, foram usadas neste trabalho considerações acerca de padrões distintos em termos de organização estrutural e funcional urbana e seus respectivos graus de proteção, estabelecidos segundo Kawakubo (2005) baseado na proposta de Ross (1994).

Assim, adaptado da proposta de Ross (1994) e baseando-se nos aspectos de uso do espaço urbano segundo Kawakubo (2005), foram listadas as tipologias de cobertura vegetal e uso da terra e seus respectivos graus de proteção.

Tabela 9 – Grau de Proteção das Classes de Cobertura Vegetal / Uso da Terra

Grau de Proteção	Tipos de Cobertura Vegetal / Uso da Terra
Muito Alta	Florestas/ Matas naturais, florestas cultivadas com biodiversidade. Áreas centrais urbanas consolidadas.
Alta	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso, formações arbustivas densas (mata secundária, Cerrado Denso, Capoeira Densa). Mata Homogênea de Pinus

	densa. Pastagens cultivadas com baixo pisoteio de gado, cultivo de ciclo longo como o cacau. Bairros localizados na transição urbano/rural, com condomínios e chácaras, e presença expressiva de vegetação.
Média	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento como café, laranja com forrageiras entre ruas, pastagens com baixo pisoteio, silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de nativas. Áreas periféricas urbanas densas com muitos lotes e sem presença de vegetação.
Baixa	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta do reino, laranja com solo exposto entre ruas), culturas de ciclo curto arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão com cultivo em curvas de nível/terraceamento. Áreas de expansão urbana com infra-estrutura urbana e de saneamento básico incipiente.
Muito Baixa a nula	Áreas desmatadas e queimadas recentemente, solo exposto por arado/gradeação, solo exposto ao longo de caminhos e estradas, terraplenagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas. Áreas de expansão urbana sem infra-estrutura de saneamento básico, e presença de solo exposto e marcas de erosão na paisagem.

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Kawakubo (2005).

Em relação às informações climáticas, sobretudo as de chuvas (intensidade, volume, duração) se prestam para a avaliação da fragilidade natural dos ambientes em decorrência da sua ação direta na dinâmica do sistema ambiental. A ação das chuvas, principalmente quando concentradas em pequenos períodos, é um importante elemento modificador por regular e ativar todos os processos morfodinâmicos contribuindo diretamente para acelerar os processos erosivos.

Desta forma, a distribuição e a intensidade das chuvas ao longo do ano são fatores decisivos no processo de intemperismo de rochas e solos sendo, portanto, fundamentais para a análise da fragilidade ambiental.

Spörl (2001), baseado em Ross (1994), estabeleceu níveis hierárquicos às características climatológicas de acordo com a maior ou menor intensidade do efeito pluviométrico sobre os processos morfodinâmicos tendo como subsídio os principais domínios climáticos que ocorrem no território brasileiro. Sendo assim, os

comportamentos pluviométricos obedeceram a uma hierarquização de ordem crescente quanto à capacidade de interferência da estabilidade do ambiente. Estas categorias estão descritas abaixo:

Tabela 10 – Grau de Fragilidade das Classes de Características Pluviométricas

Fragilidade	Características Pluviométricas
Muito Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ano.
Baixa	Situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ano.
Média	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, e no verão com maiores intensidades de dezembro a março.
Forte	Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril quando ocorrem de 70 a 80% do total das chuvas.
Muito Forte	Situação pluviométrica com distribuição regular, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de chuvas de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano (semi-árido).

Fonte: Spörl (2001).

Deste modo a associação numérica entre as variáveis representa um dígito para o grau de declividade (de 1 a 5), outro para a susceptibilidade à erosão dos tipos de solos (de 1 a 5) do menos susceptível ao mais susceptível, outro dígito para o grau de proteção aos solos pela cobertura vegetal e uso da terra, variando da mais protetora a menos protetora (1 a 5), e o último dígito relacionado à pluviosidade em razão das suas características ao longo do ano (1 a 5).

Assim sendo tem-se conjunto arábicos de quatro dígitos, que combinam-se entre si, números de 1 a 5, podendo-se ter áreas com valores do tipo 1111, 1212, entre outros e chegando até o valor extremo 5555, onde todas as variáveis são

desfavoráveis, ou seja, uma área onde o relevo apresenta uma declividade muito alta, com solos muito frágeis aos processos erosivos, desprovida de cobertura vegetal, e ainda, com situações pluviométrica com distribuição irregular e volumes superiores a 2500 mm/ano.

Nesta proposta, além da Geologia, que foi citada, mas não definida na metodologia de fragilidade ambiental, outras variáveis – como, por exemplo, as práticas de manejo – também podem ser incluídas na análise da fragilidade e geração da carta síntese através da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos a cada uma das manchas de fragilidade identificadas (ROSS, 1994).

#### **4.2.2 Metodologia de Vulnerabilidade à Erosão Baseado nas Unidades Territoriais Básicas (CREPANI et al., 2001)**

Crepani et al. (2001) desenvolveram uma metodologia para a geração de cartas de vulnerabilidade à erosão, para subsidiar o zoneamento ecológico – econômico da Amazônia, a partir do conceito de ecodinâmica de Tricart (1977), fundamentado na relação morfogênese / pedogênese (processo de formação do relevo / processo de formação do solo) e na utilização sistemática de imagens Landsat, que proporcionam uma visão sinótica, holística e multitemporal da paisagem.

A delimitação das unidades de paisagem sobre uma imagem de satélite permite o acesso às relações de causa e efeito entre os elementos que a compõem, oferecido pelas diferentes resoluções (espacial, espectral, temporal e radiométrica) da imagem. Do contrário, a simples justaposição de informações em SIG, gerada

baseado em dados de diferentes escalas, épocas e metodologias de trabalho, nem sempre apresenta relações coerentes entre si (FLORENZANO, 2008).

De acordo com Crepani et al. (2001), primeiramente é realizada a reinterpretação das informações temáticas disponíveis (mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal e uso da terra) sobre as imagens de satélite utilizadas como âncora, e a geração de curvas de intensidade pluviométrica, definindo Planos de Informação (PI) temáticos georreferenciados (PI Geologia, PI Geomorfologia, PI Pedologia, PI Vegetação e Uso e PI Intensidade Pluviométrica). A intersecção vetorial desses Pis define o mapa de Unidades Territoriais Básicas (PI UTB), composto de unidades de paisagem natural e polígonos de intervenção antrópica. Ao PI UTB associa-se um banco de dados relacional contendo as classes dos PI temáticos e os valores, relativos e empíricos, de vulnerabilidade à perda de solo de cada uma dessas classes.

Segundo Becker e Egler (1996 apud CREPANI et al., 2001), as unidades territoriais básicas são as células elementares de informação e análise para o zoneamento ecológico – econômico. Uma unidade territorial básica é uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais.

As etapas para a geração das cartas de vulnerabilidade ambiental são segundo Crepani et al. (2001):

- elaboração de uma mapa de unidades homogêneas de paisagens (UTBs), a partir da análise e interpretação de composições coloridas formadas com as imagens das bandas 3, 4 e 5 do sensor TM, considerando os padrões fotográficos identificados pelas variações de cor, textura, forma, padrão de drenagem e relevo. Em trabalhos

recentes, imagens da câmara CCD do satélite CBERS, dados SRTM e de outros satélites também vêm sendo utilizados (FLORENZANO, 2008);

- associação das informações temáticas existentes ou extraídas da própria interpretação das imagens (Geologia, Geomorfologia, Solos, Cobertura Vegetal / Uso da Terra e Clima) com o mapa das unidades homogêneas, denominadas unidades territoriais básicas (UTBs). Essa associação permite caracterizar tematicamente as unidades ambientais ou de paisagens (UTBs);

- classificação do grau de estabilidade ou vulnerabilidade de cada unidade ambiental (UTB), segundo a relação morfogênese / pedogênese. A vulnerabilidade é expressa pela atribuição de valores de estabilidade (de 1 a 3) para cada tema individualmente, referente a cada UTB, estabelecendo assim, 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações em que há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuem valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0), conforme mostrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Escala de Vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básicas

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA	GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
			VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	3,0	VULNERÁVEL	255	0	0	
U2	2,9		255	51	0	
U3	2,8		255	102	0	
U4	2,7		255	153	0	
U5	2,6		255	204	0	
U6	2,5	MODERADAM. VULNERÁVEL	255	255	0	
U7	2,4		204	255	0	
U8	2,3		153	255	0	
U9	2,2	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	2,1		51	255	0	
U11	2,0		0	255	0	
U12	1,9		0	255	51	
U13	1,8	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	1,7		0	255	153	
U15	1,6		0	255	204	
U16	1,5		0	255	255	
U17	1,4		0	204	255	
U18	1,3	ESTÁVEL	0	153	255	
U19	1,2		0	102	255	
U20	1,1		0	51	255	
U21	1,0		0	0	255	

Fonte: Crepani et al. (2001).

- definição da vulnerabilidade final atribuída a uma UTB referente à média dos valores atribuídos a cada tema para esta UTB, segundo uma equação empírica, que busca representar a posição desta unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo:

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$$

onde:

V = Vulnerabilidade

G = vulnerabilidade para o tema Geologia

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = vulnerabilidade para o tema Solos

Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação / Uso da Terra

C = vulnerabilidade para o tema Clima

Para Crepani et al. (2001) a contribuição da Geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e ao grau de coesão das rochas que a compõem. Por grau de coesão da rocha entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem. Esse grau é a informação básica da Geologia a ser integrada a partir da Ecodinâmica, uma vez que, em rochas pouco coesas, prevalecem os processos modificadores das formas de relevo, enquanto nas rochas bastante coesas, prevalecem os processos de formação de solos.

Assim, enquanto Crepani et al. (2001) consideram diretamente em suas análises, a vulnerabilidade dos tipos de rochas em relação aos processos erosivos e de intemperismo, Ross (1994) analisa a geologia como um atributo embutido nas características da paisagem, não a tratando como um tema específico.

Abaixo é apresentado um quadro geral das rochas e dos seus respectivos graus de vulnerabilidade à perda de solo relacionada à denudação.

Tabela 12 – Escala de Vulnerabilidade à Denudação das rochas mais comuns

Litologias	Grau de Vulnerabilidade
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0
Riólito, granito, dacito	1,1
Granodiorito, quartzo diorito, granulitos	1,2
Migmatitos, gnaisses	1,3
Fonólito, nefelina sienito, traquito, sienito	1,4
Andesito, diorito, basalto	1,5
Anortosito, gabro, peridotito	1,6
Milonitos, quartzo muscovita, biotita, clorita xisto	1,7
Piroxenito, anfíbolito kimberlito, dunito	1,8
Hornblenda, tremolita, actinolita xisto	1,9
Estaurolita xisto, xistos granatíferos	2,0
Filito, metassiltito	2,1
Ardósia, metargilito	2,2
Mármore	2,3
Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Conglomerados, subgrauvacas	2,5
Grauvacas, arcózios	2,6
Siltitos, argilitos	2,7
Folhelhos	2,8
Calcários, dolomitos, margas, evaporitos	2,9
Sedimentos inconsolidados: aluviões, colúvios etc	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Para analisar os valores da escala de vulnerabilidade para as unidades de paisagem com relação à Geomorfologia são analisados os seguintes índices morfométricos do terreno: dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade (CREPANI et al., 2001).

A intensidade de dissecação do relevo pela drenagem está diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha. A amplitude altimétrica, que está relacionada com o aprofundamento da dissecação, é um indicador da energia potencial disponível para o escoamento superficial. A declividade, inclinação do relevo em relação ao horizonte, tem relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética e, portanto, com a velocidade das massas de água em movimento responsáveis pelo escoamento superficial.

Crepani et al. (2001) estabelecem que quando se trabalha com cartas topográficas e escala igual ou maior que 1:100.000, para os cálculos dos índices morfométricos, pode ser utilizada a matriz dos índices de dissecação apresentada na Tabela 13, ou a Tabela 14 com as classes de declividade e os respectivos valores da escala de vulnerabilidade.

Tabela 13 –Matriz dos índices de dissecação do relevo e valores de Vulnerabilidade

		AMPLITUDE INTERFLUVIAL				
		MUITO GRANDE >5000m	GRANDE 2000 a 5000m	MÉDIA 750 a 2000m	PEQUENA 250 m 750 m	MUITO PEQUENA < 250m
AMPLITUDE ALTIMÉTRICA	MUITO BAIXA (1) (< 20m)	11 1,0.....1,0	12 1,0.....1,5	13 1,0.....2,0	14 1,0.....2,5	15 1,0.....3,0
	BAIXA (2) (20 a 40m)	21 1,5.....1,0	22 1,5.....1,5	23 1,5.....2,0	24 1,5.....2,5	25 1,5.....3,0
	MÉDIA (3) (40 a 100m)	31 2,0.....1,0	32 2,0.....1,5	33 2,0.....2,0	34 2,0.....2,5	35 2,0.....3,0
	ALTA (4) (100 a 200m)	41 2,5.....1,0	42 2,5.....1,5	43 2,5.....2,0	44 2,5.....2,5	45 2,5.....3,0
	MUITO ALTA (5) (> 200m)	51 3,0.....1,0	52 3,0.....1,5	53 3,0.....2,0	54 3,0.....2,5	55 3,0.....3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Tabela 14 – Classes de Declividade com os respectivos valores da escala de Vulnerabilidade

Classes Morfométricas	Declividade (%)	Valores de Vulnerabilidade
Muito Baixa	< 2	1,0
Baixa	2 - 6	1,5
Média	6 - 20	2,0
Alta	20 - 50	2,5
Muito Alta	> 50	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Já em relação à Pedologia, a capacidade de um determinado solo resistir à erosão é função das suas condições internas ou intrínsecas, como sua composição

mineralógica e granulométrica e suas características físicas e químicas, bem como das suas condições externas ou dos atributos da superfície do solo, relacionados ao seu manejo (CREPANI et al., 2001).

Na análise da vulnerabilidade do solo, considera-se o seu grau de maturidade produto direto do balanço morfogênese / pedogênese. Ela indica claramente se prevalecem os processos erosivos da morfogênese, que geram solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se, no outro extremo, as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese, gerando solos maduros, profundos, lixiviados e bem desenvolvidos. Onde ocorrem associações de solos, é feita uma ponderação em função da proporção dos componentes da associação registrada. A Tabela 15 mostra os valores de vulnerabilidade atribuídos aos principais tipos de solos por Crepani et al. (2001).

Tabela 15 – Valores de Vulnerabilidade dos Solos

Classificação de Solos (Camargo et al., 1987)	Classificação de Solos (Embrapa, 1999)	Vuln.
Latossolos amarelos	Latossolos amarelos	1,0
Latossolos vermelho-amarelos	Latossolos vermelho-amarelos	
Latossolos vermelho-escuros	Latossolos vermelhos	
Latossolos roxos	Latossolos vermelhos	
Latossolos brunos	Latossolos brunos	
Latossolos húmicos	Latossolos (...) húmicos	
Latossolos húmicos brunos	Latossolos brunos (...) húmicos	
Podzólicos amarelos	Argissolos	
Podzólicos vermelho-amarelos	Argissolos, luvissolos, alissolos, nitossolos	
Podzólicos vermelho-escuros	Argissolos, luvissolos, alissolos, nitossolos	
Terras roxas estruturadas	Argissolos, nitossolos	
Brunos não-cálcicos	Luvissolos	
Brunizéns	Chernossolos	
Brunizéns avermelhados	Chernossolos	
Rendzinas	Chernossolos	
Planossolos	Planossolos	
Solos hidromórficos (abrupticos)	Planossolos	
Podzóis	Espodossolos	

Cambissolos	Cambissolos	2,5
Solos litólicos	Neossolos litólicos	3,0
Solos aluviais	Neossolos flúvicos	
Regossolos	Neossolos regolíticos	
Areias quartzosas	Neossolos quatzarênicos	
Vertissolos	Vertissolos	
Solos orgânicos	Organossolos	
Solos hidromórficos (não abrupticos)	Gleissolos	
Glei húmico	Gleissolos, plintossolos	
Glei pouco húmico	Gleissolos, plintossolos	
Plintossolo	Plintossolo	
Laterita hidromórfica	Plintossolo	
Solos concrecionários lateríticos	Plintossolo	
Afloramento rochoso	Afloramento rochoso	

Fonte: Crepani et al. (2001).

No que compete à cobertura vegetal, ela exerce um papel importante no trabalho de retardar o ingresso das águas provenientes das precipitações pluviais nas correntes de drenagem, pelo aumento da capacidade de infiltração. A infiltração diminui o escoamento superficial e, conseqüentemente, a capacidade de erosão, pela transformação de energia potencial em energia cinética. A participação da cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica da unidade de paisagem está, portanto, diretamente ligada à sua capacidade de proteção (CREPANI et al., 2001).

Assim, aos processos morfogenéticos relacionam-se as coberturas vegetais de densidade mais baixa, enquanto os processos pedogenéticos ocorrem em situações em que a cobertura vegetal mais densa permite o desenvolvimento e a maturação do solo. Portanto, para as áreas com alta densidade de cobertura vegetal, são atribuídos menores valores de vulnerabilidade; já para as áreas com baixa densidade de cobertura vegetal e maior intensidade de uso do solo, atribuem-se os maiores valores de vulnerabilidade, conforme pode ser visto na tabela abaixo:

Tabela 16 – Valores de Vulnerabilidade para a Cobertura Vegetal e Uso do Solo

Tipo de Cobertura Vegetal e Uso da Terra	Vulnerabilidade
Floresta Ombrófila Densa	1,0
Floresta Ombrófila Aberta	1,2
Floresta Ombrófila Mista	1,3
Floresta Estacional Semidecidual	1,6
Floresta Estacional Decidual	2,2
Campinarana Florestada	1,4
Campinarana Arborizada	1,9
Campinarana Arbustiva	2,3
Campinarana Gramíneo - Lenhosa	2,7
Savana, Savana-estépica e Estepe Florestada	1,7
Savana, Savana-estépica e Estepe Arborizada	2,1
Savana, Savana-estépica e Estepe Arbustiva	2,5
Savana, Savana-estépica e Estepe Gramíneo - Lenhosa	2,7
Vegetação com influência marinha, flúvio-marinha, fluvial e lacustre Arbórea	1,4
Vegetação com influência marinha, flúvio-marinha, fluvial e lacustre Arbustiva	2,3
Vegetação com influência marinha, flúvio-marinha, fluvial e lacustre Herbácea	2,7
Refúgio montano e alto-montano Arbustivo	2,3
Refúgio montano e alto-montano Herbáceo	2,7
Pastagens	2,8
Cultura Perene	2,9
Cultura Anual	3,0
Áreas urbanas consolidadas sem presença de vegetação	2,5
Áreas de expansão urbana com infra-estrutura incipiente	2,9
Áreas de mineração, Solo exposto	3,0

Fonte: Adaptado de Crepani et al. (2001).

Em relação à variável Clima, esta controla o intemperismo diretamente, através da precipitação pluviométrica e da temperatura de uma região, e também indiretamente através dos tipos de vegetação que poderão cobrir a paisagem. A causa fundamental da denudação é a ação da chuva agindo inicialmente sobre as rochas provocando o intemperismo, e mais tarde sobre os solos removendo-os pela erosão hídrica. As principais características físicas das chuvas envolvidas nos processos erosivos são: a pluviosidade total, a intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal. Entre essas três características, é especialmente importante

conhecer a intensidade pluviométrica, pois representa uma relação entre as outras duas características (quanto chove / quando chove), resultado que determina, em última análise, a quantidade de energia potencial disponível para ser transformada em energia cinética (CREPANI et al., 2001).

A maior importância da intensidade pluviométrica é facilmente verificada quando se observa que uma elevada pluviosidade anual, mas com distribuição ao longo de todo o período chuvoso, tem um poder erosivo muito menor do que uma baixa precipitação, mas que ocorre torrencialmente num determinado período do ano. A Tabela 17 mostra os valores de vulnerabilidade à perda de solo, relacionados aos valores de intensidade pluviométrica de acordo com Crepani et al. (2001).

Tabela 17 – Escala de Erosividade da Chuva e Valores de Vuln. à Perda de Solo

Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vuln.	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vuln.	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	Vuln.
< 50	1,0	200 – 225	1,7	375 – 400	2,4
50 – 75	1,1	225 – 250	1,8	400 – 425	2,5
75 – 100	1,2	250 – 275	1,9	425 – 450	2,6
100 – 125	1,3	275 – 300	2,0	450 – 475	2,7
125 – 150	1,4	300 – 325	2,1	475 – 500	2,8
150 – 175	1,5	325 – 350	2,2	500 – 525	2,9
175 – 200	1,6	350 – 375	2,3	> 525	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Os procedimentos propostos pelas metodologias de Ross (1994) e Crepani et al. (2001) com suas adaptações, foram aplicados na área do entorno do futuro Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo com as informações temáticas trabalhadas na etapa anterior e resultaram nas duas cartas sínteses a seguir (Figuras 14 e 15):

# RODOANEL LESTE

## CARTA de FRAGILIDADE AMBIENTAL

(ROSS, 1994)

### CLASSES DE FRAGILIDADE

-  MUITO FRACA
-  FRACA
-  MÉDIA
-  FORTE
-  MUITO FORTE

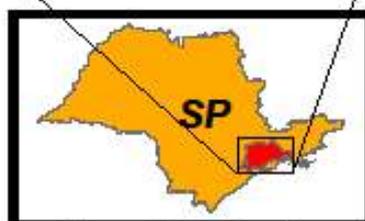
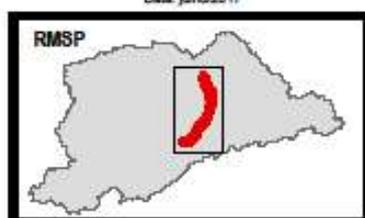
— Rodoanel Leste

Carta de Fragilidade Ambiental elaborada a partir da metodologia de Ross (1994). Temas considerados: Declividade, Solos, Uso do Solo/Cobertura Vegetal e Características Pluviométricas



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum Vertical: Imbituba-0C  
Datum Horizontal: SAD-69  
Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"  
Organização e Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado  
Data: julho/2011



Mapa de Localização

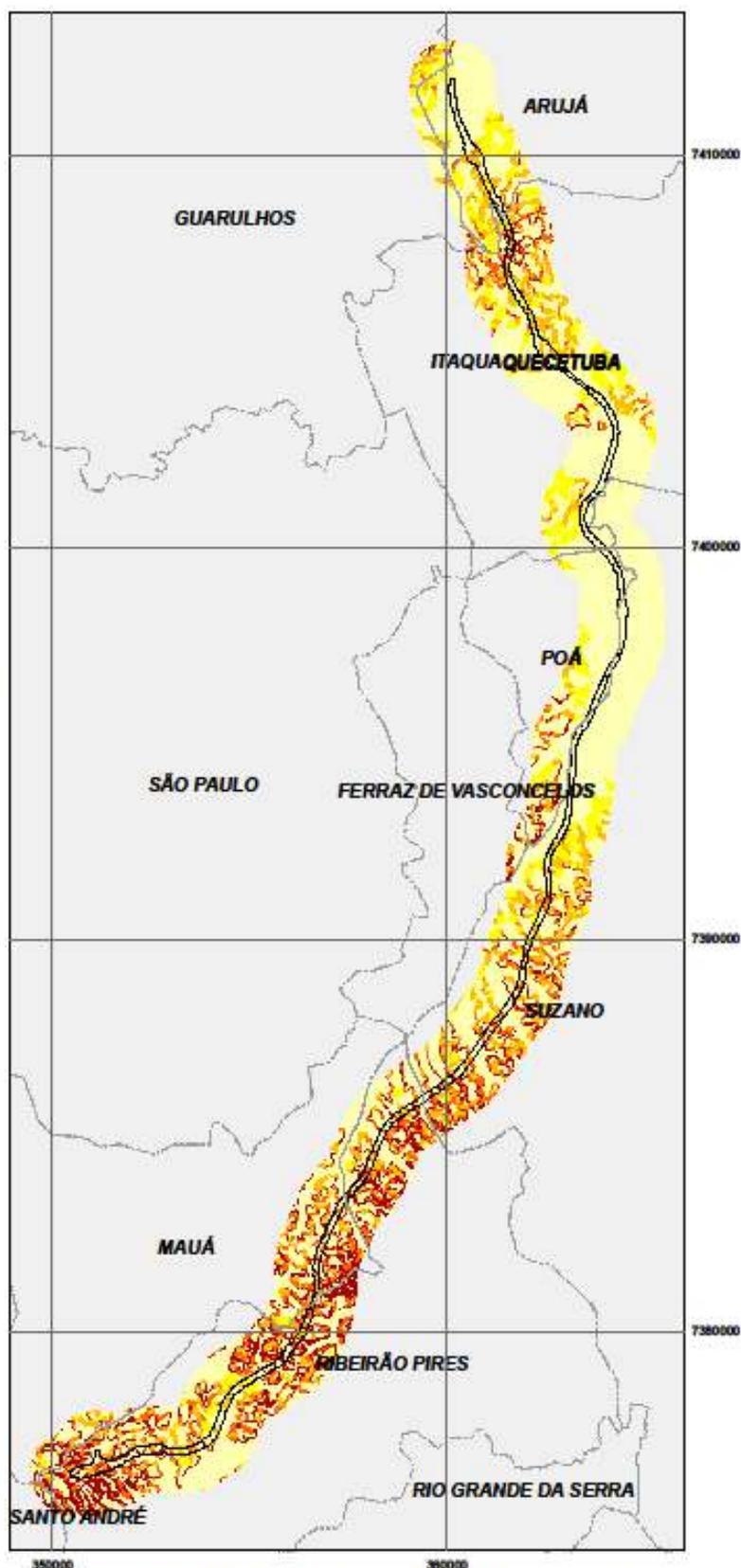


Figura 14 - Carta de Fragilidade Ambiental Rodoanel Leste

# RODOANEL LESTE CARTA de VULNERABILIDADE À EROSÃO

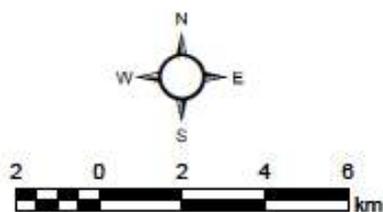
(CREPANI et al., 2001)

## GRAUS DE VULNERABILIDADE

-  ESTÁVEL
-  MODERADAMENTE ESTÁVEL
-  MEDIANAMENTE ESTÁVEL
-  MODERADAMENTE VULNERÁVEL
-  VULNERÁVEL

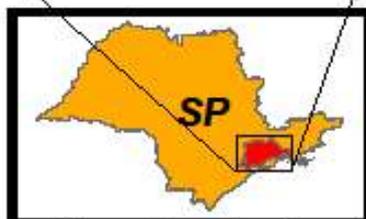
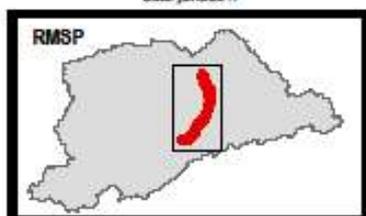
— Rodoanel Leste

Carta de Vulnerabilidade à Erosão elaborada a partir da metodologia de Crepani et al. (2001).  
Temas considerados: Geologia, Declividade, Solos, Vegetação/uso do Solo e Clima



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum Vertical: Imbituba-80  
Datum Horizontal: SAD-69  
Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"  
Organização e Elaboração: Carlos Roberto Ubonati Machado  
Data: julho/2011



Mapa de Localização

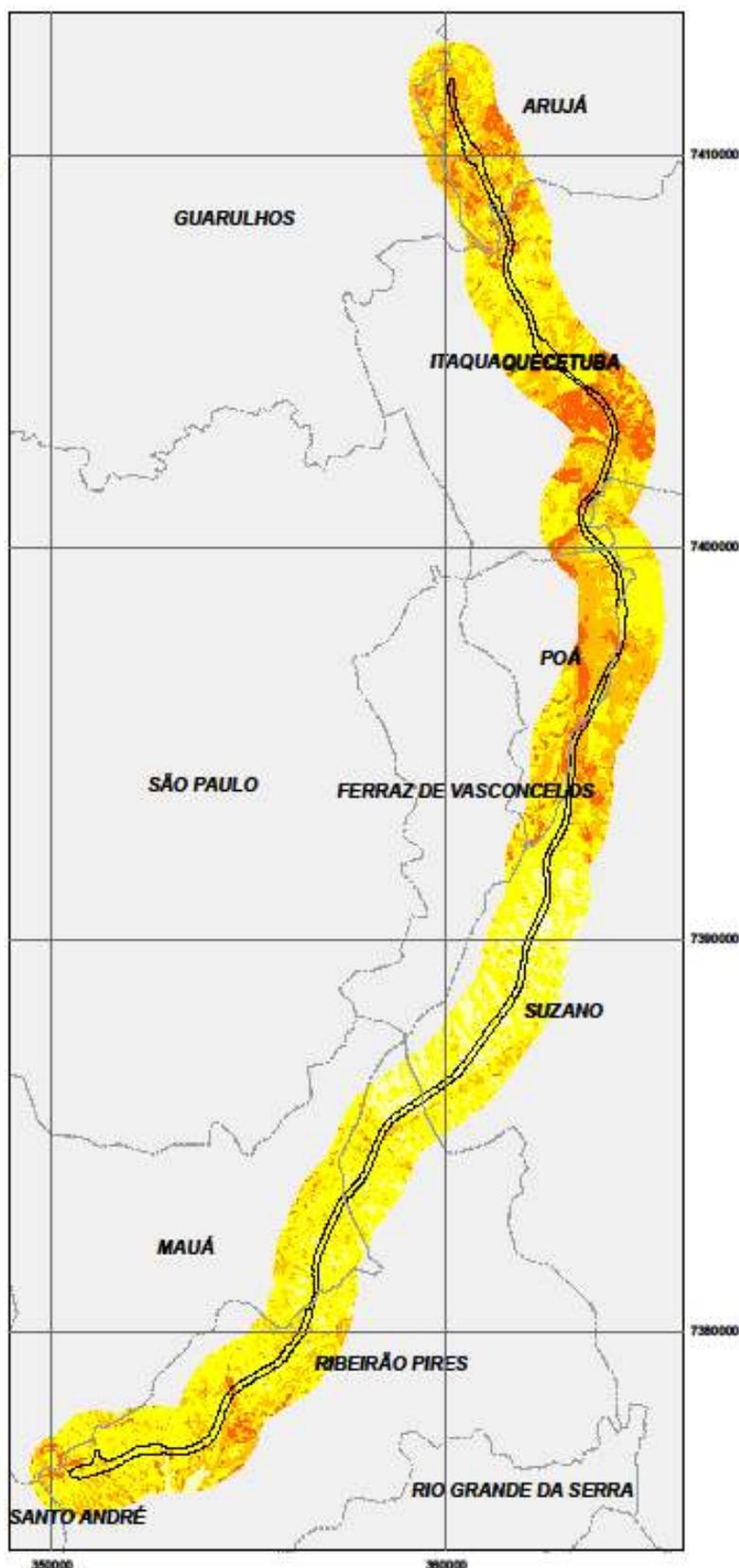


Figura 15 - Carta de Vulnerabilidade à Erosão Rodoanel Leste

### **4.3 NÍVEL SEMÂNTICO: ANÁLISE E COMPARAÇÃO DAS METODOLOGIAS**

#### **4.3.1 Aspectos Gerais da Comparação**

Primeiramente é importante mencionar que, as metodologias propostas por Ross (1994) e por Crepani et al. (2001) apresentam divergências técnico-operacionais na classificação da fragilidade / vulnerabilidade das áreas.

Ross (1994) estabelece que a classificação dos graus de fragilidade é feita através do agrupamento dos índices das variáveis (declividade do relevo, solos, cobertura vegetal / uso do solo e clima), gerando um código de quatro algarismos. Adota o relevo como a mais importante variável, denotando assim uma metodologia de cunho mais geomorfológico. Crepani et al. (2001) classificam a vulnerabilidade ambiental através da média aritmética dos valores individuais de cada variável (geologia, relevo, solos, cobertura vegetal / uso do solo e clima), igualando o peso de cada variável no estabelecimento da vulnerabilidade à erosão de cada unidade.

O outro aspecto que diferencia as duas metodologias é o uso da variável Geologia. Na proposta de Crepani et al. (2001) esta variável é considerada na análise da vulnerabilidade à erosão e na extração da média; já Ross (1994), considera que, ao analisar as características do solo e do relevo, os aspectos da geologia já estão sendo trabalhados, uma vez que os tipos de rochas e fraturas exercem comportamento direto no meio físico.

Desta forma, os mapeamentos de síntese apresentam resultados bem divergentes. Estas diferenças também foram encontradas por Spörl (2001 e 2007), ao comparar as duas metodologias, numa região localizada a noroeste do Estado de São Paulo e ao sul de Minas Gerais, e no Vale do rio Paraíba do Sul em São Paulo;

e também por Kawakubo (2005), ao aplicar as duas metodologias, na região de Atibaia no Estado de São Paulo.

A metodologia de Ross (1994) ao enfatizar a questão geomorfológica, basicamente as declividades, contribui para que haja uma majoração ou aumento das classes Fraca a Muito Forte. Nas unidades localizadas nas várzeas dos rios, a fragilidade apresenta a classe Muito Fraca em virtude do relevo plano, o que não condiz com a realidade, em razão dos eventos de inundação periódica que assolam estes trechos.

Em relação à metodologia de Crepani et al. (2001), que adota as médias, há de um lado uma subestimação da fragilidade de algumas unidades. As áreas formadas por rochas cristalinas, que por apresentarem uma vulnerabilidade à erosão baixa, em razão da coesão e resistência dos materiais, encobrem a vulnerabilidade superficial, muitas vezes formada por solos rasos e relevo acentuado. De outro lado, também pode apresentar uma superestimação da vulnerabilidade à erosão, principalmente nas áreas de depósitos coluviais, onde ocorrem unidades compostas por rochas sedimentares, que são mais frágeis, recobertas por solos bem desenvolvidos e de pouca erodibilidade, e em terrenos com declividades normalmente baixas. Com isso, o resultado da vulnerabilidade apresenta um efeito suavizado entre as classes, acarretando uma distribuição maior entre as classes intermediárias.

A divergência pode ser observada quando se analisam duas áreas distintas (Figuras 16 e 17). A primeira localizada na várzea do Rio Tietê, na parte central do Trecho Leste do Rodoanel, próximo às divisas dos municípios de Poá, Suzano e Itaquaquecetuba, que apresenta um relevo mais plano (Figura 16); e a segunda, na

parte mais ao sul da primeira, nos limites entre os municípios de Ribeirão Pires e Mauá, área com unidades com relevo mais ondulado (Figura 17).

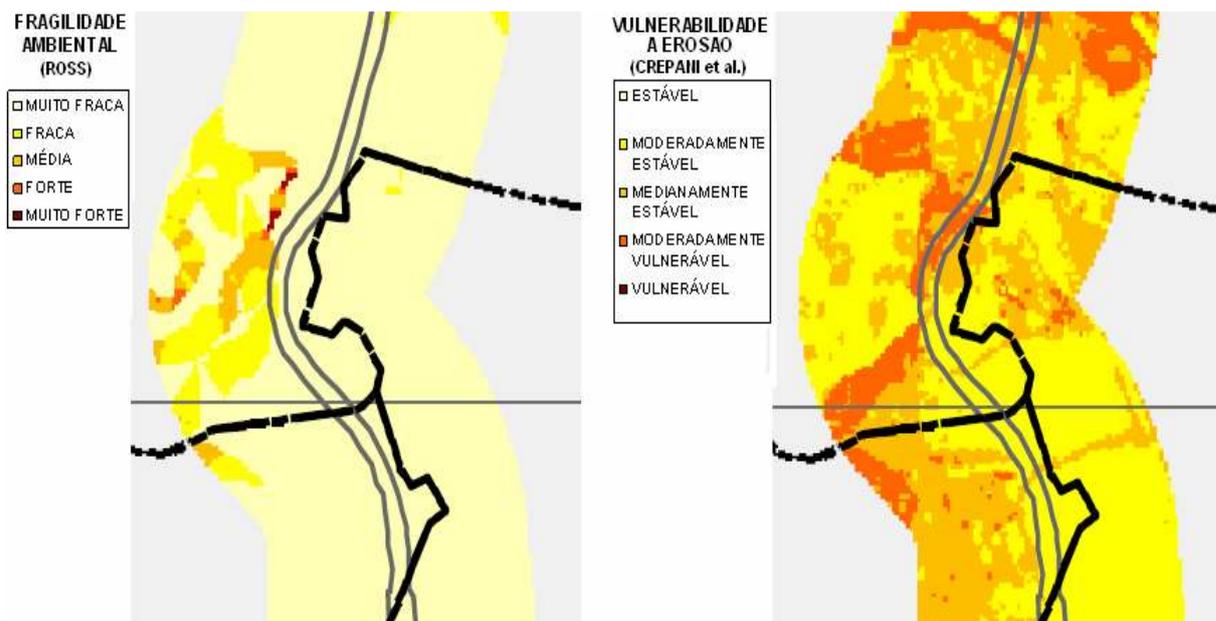


Figura 16: Divergência entre os modelos de Ross (1994) e Crepani et al. (2001) – área 1

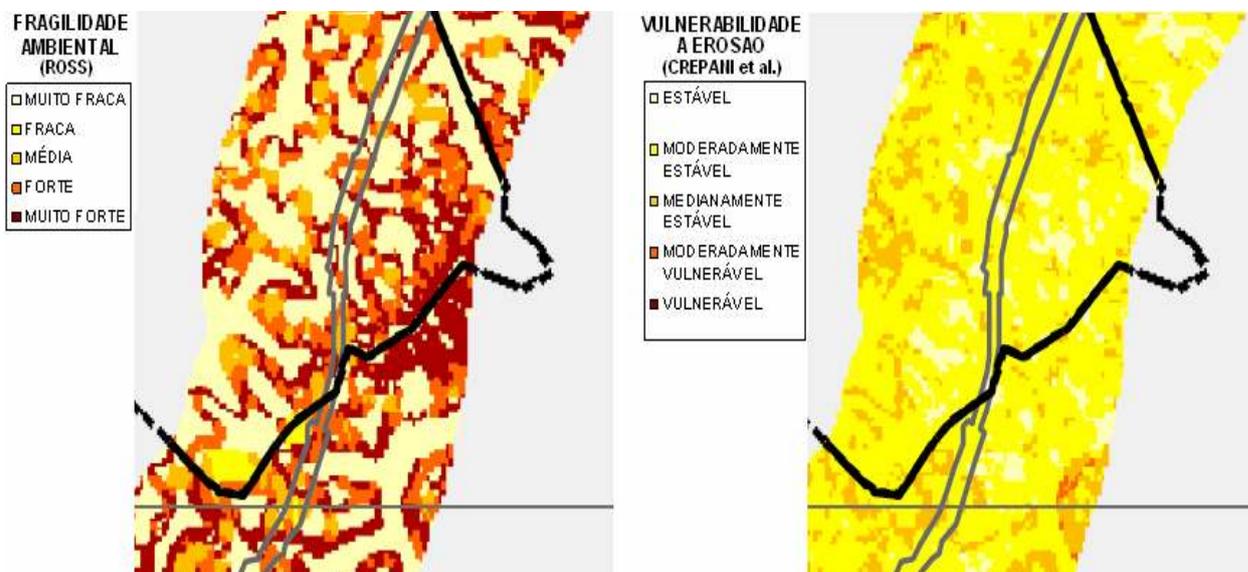


Figura 17: Divergência entre os modelos de Ross (1994) e Crepani et al. (2001) – área 2

A aplicação da metodologia de Ross (1994) estabelece para a primeira área, em termos gerais, uma fragilidade Muito Fraca (Figura 16), e para a segunda área fragilidades Forte e Muito Forte (Figura 17). Em contrapartida, na metodologia de

Crepani et al. (2001), a primeira área foi classificada com vulnerabilidades entre Moderadamente Estável e Moderadamente Vulnerável (Figura 16), já a segunda área com vulnerabilidade Moderadamente Estável (Figura 17). Ou seja, para a metodologia de Ross (1994) a segunda área é ambientalmente mais frágil, ao contrário da metodologia de Crepani et al. (2001) que consideram a primeira mais vulnerável à erosão.

Estas divergências são explicadas, basicamente, pela ênfase que a proposta de Ross (1994) dá aos aspectos do modelado do terreno, admitindo que quanto mais plano o terreno, menor a sua fragilidade ambiental; o que não ocorre na proposta de Crepani et al. (2001), onde há uma equivalência entre as variáveis consideradas.

Os gráficos com a distribuição das classes de fragilidade / vulnerabilidade, e a quantificação em quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>), de ambas as propostas metodológicas são apresentados a seguir:

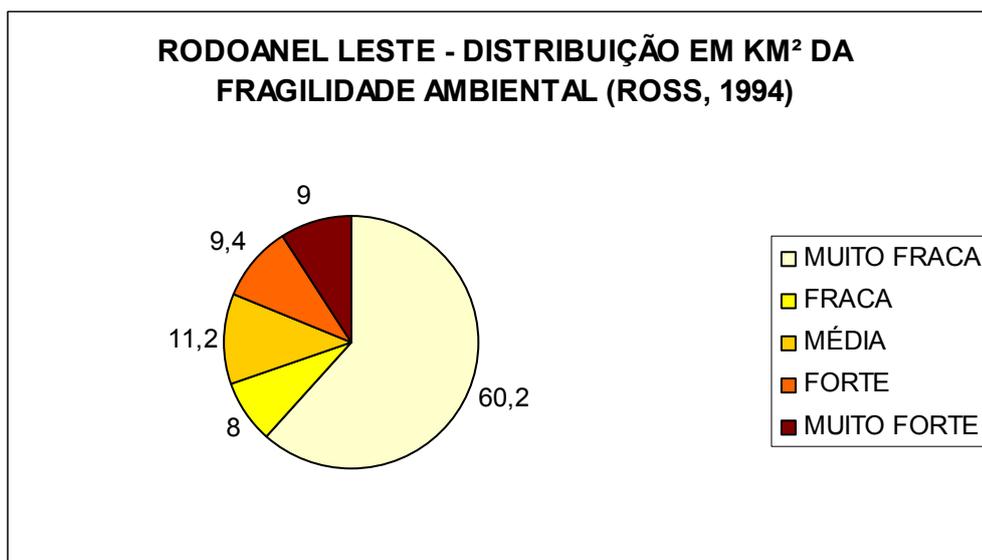


Gráfico 5: Distribuição das Classes de Fragilidade Ambiental em km<sup>2</sup>.

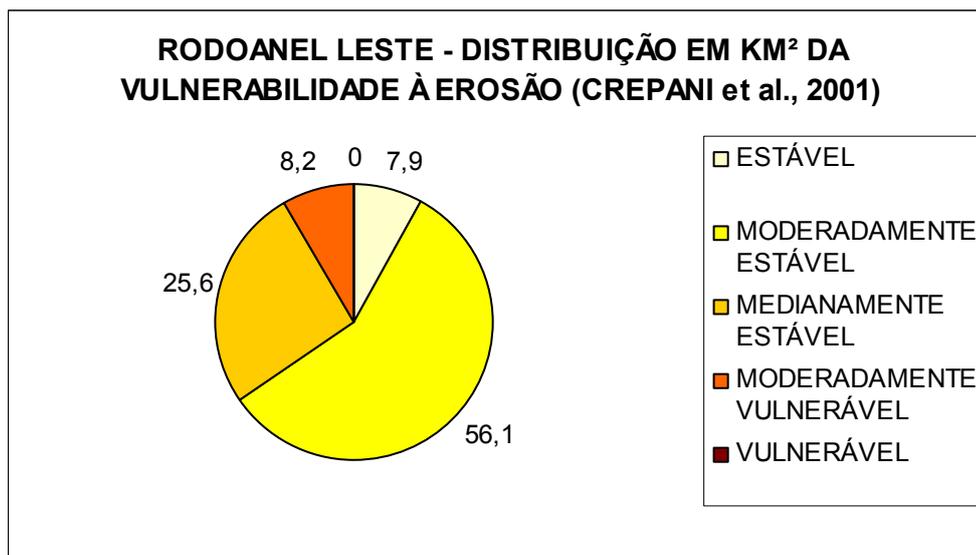


Gráfico 6: Distribuição das Classes de Vulnerabilidade à Erosão em km<sup>2</sup>.

De acordo com os gráficos acima, percebe-se que na Carta de Fragilidade Ambiental proposta por Ross (1994), mais de 60% da área pesquisada foi classificada com uma fragilidade Muito Fraca, havendo para as outras quatro classes uma distribuição equitativa dos 40% restantes. Esta distribuição é explicada pelo fato de que grande parte do Trecho Leste do Rodoanel se localiza em terrenos com relevos de colinas e morrotes, que apresentam pequenas a médias declividades e em áreas planas das planícies aluviais.

No tocante às distribuições das classes da Carta de Vulnerabilidade à Erosão proposta por Crepani et al. (2001), observa-se que mais de 80% da área analisada foi classificada como Moderadamente Estável ou Medianamente Estável, e que a classe Vulnerável não é existente nesta área. Como essa metodologia não prioriza nenhuma das variáveis, há uma compensação entre elas, acarretando um predomínio das classes intermediárias. Isso significa que, quando a área apresenta formações geológicas desfavoráveis, normalmente os solos compensam ou

equilibram e, quando as formações geológicas possuem uma estrutura mais resistente, os solos são mais vulneráveis à erosão.

#### 4.3.2 Semelhanças e Divergências entre as Metodologias

Para uma análise comparativa mais detalhada entre as propostas metodológicas de Ross (1994) e de Crepani et al. (2001), foram gerados dois mapas. O primeiro mapa (Figura 18) compara as semelhanças e divergências entre classes temáticas de mesmo nível hierárquico, considerando a equivalência entre as classes. Assim, apesar das nomenclaturas discordantes encontradas nas classes de Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade à Erosão, estabeleceu-se uma correlação entre elas, definida pela conformidade entre os graus de fragilidade / vulnerabilidade que uma área pode apresentar, como pode ser visto abaixo (Tabela 18):

Tabela 18 – Correlação no mesmo nível entre as classes de Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade à Erosão

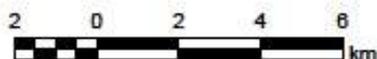
<b>CLASSES DE FRAGILIDADE AMBIENTAL</b>		<b>CLASSES DE VULNERABILIDADE À EROÇÃO</b>
MUITO FRACA	=	ESTÁVEL
FRACA	=	MODERADAMENTE ESTÁVEL
MÉDIA	=	MEDIANAMENTE ESTÁVEL
FORTE	=	MODERADAMENTE VULNERÁVEL
MUITO FORTE	=	VULNERÁVEL

Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado.

# RODOANEL LESTE COMPARAÇÃO FRAGILIDADE/ VULNERABILIDADE (CARTA 1)

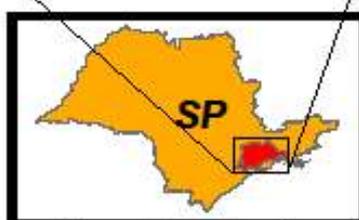
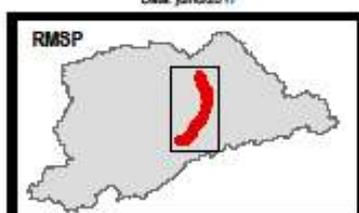
- SEMELHANÇA
- DIVERGÊNCIA
- Rodoanel Leste

Carta de Comparação entre as metodologias de: Fragilidade Ambiental - Ross (1994), e Vulnerabilidade à Erosão - Crepani et al. (2001). Semelhanças e divergências estabelecidas entre classes temáticas de mesmo nível hierárquico.



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum Vertical: Imbituba-SC  
Datum Horizontal: SAD-69  
Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"  
Organização e Elaboração: Carlos Roberto Ubonati Machado  
Data: julho/2011



Mapa de Localização

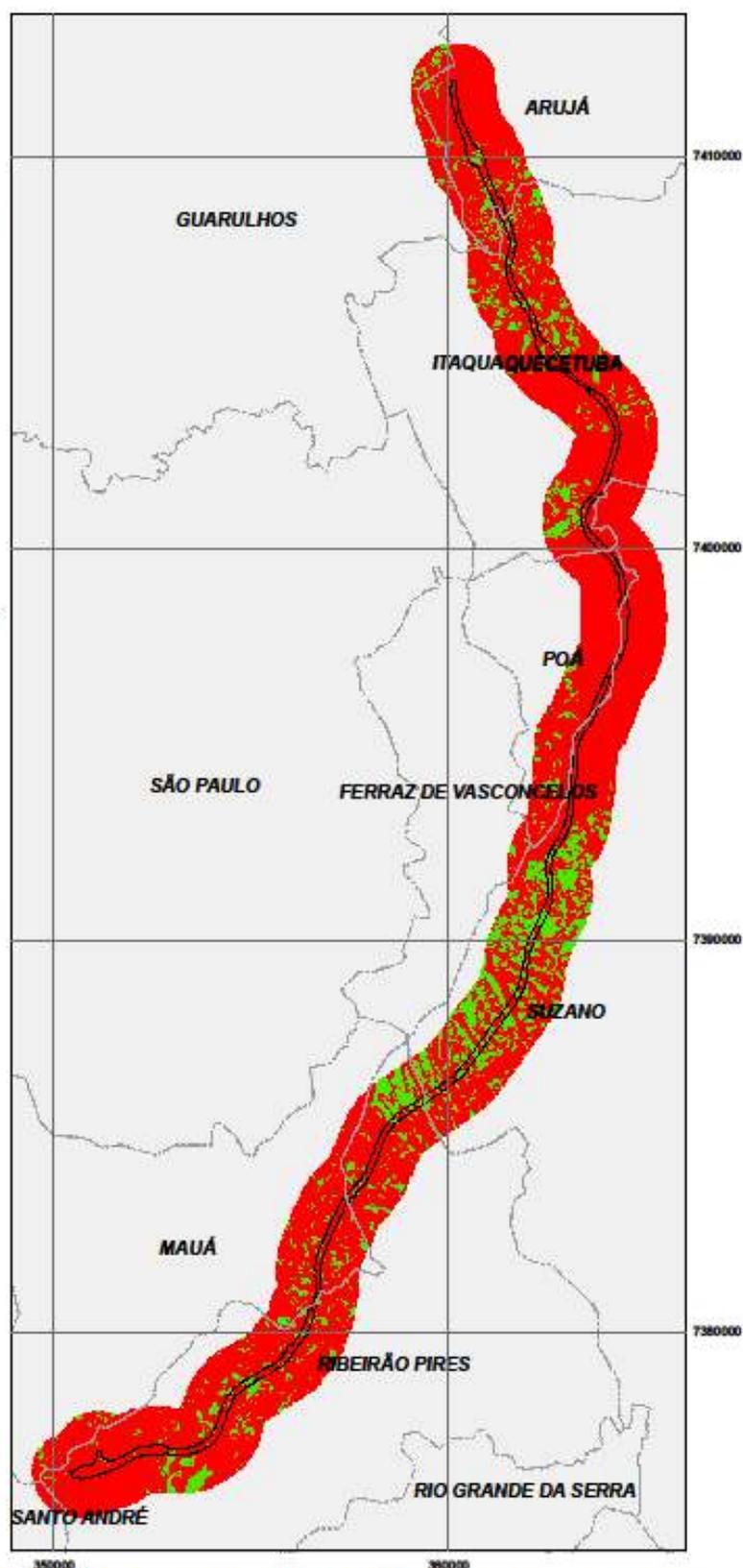


Figura 18 - Comparação Fragilidade/Vulnerabilidade Rodoanel Leste - Carta 1

Como pode ser visto na Figura 18, as maiores semelhanças ocorrem na porção central da área pesquisada, ao sul do município de Suzano. Isto se deve ao fato da Carta de Vulnerabilidade à Erosão apresentar as maiores estabilidades, principalmente em virtude da variável cobertura vegetal, exibir nesta área, os principais e mais extensos remanescentes de vegetação nativa de todo o Trecho Leste do Rodoanel. O outro aspecto importante a considerar é porque a Carta de Fragilidade Ambiental mostra classes de fragilidade fracas, pois os terrenos basicamente são modelados em colinas suaves.

Ao norte desta porção do território, junto às planícies aluviais dos rios Guaió e Tietê, é visualizada uma grande área homogênea divergente. Uma explicação para a diferença entre as metodologias é que, enquanto a proposta de Crepani et al. (2001) apresenta as maiores vulnerabilidades, ou seja, apresenta uma geologia desfavorável, formada por sedimentos aluviais do quaternário, na proposta de Ross (1994), as fragilidades são mais fracas, em razão do relevo plano.

Em termos quantitativos, aproximadamente 85% da área apresenta divergência e há 15% de semelhança entre as classes temáticas de mesmo nível hierárquico (Gráfico 7).

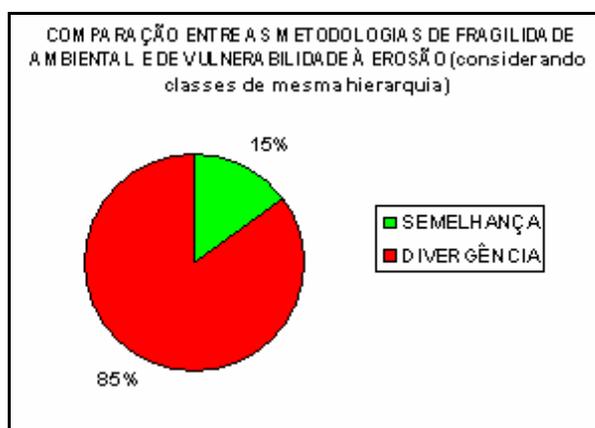


Gráfico 7: Semelhanças e Divergências entre as propostas de Ross (1994) e Crepani et al. (2001) – considerando classes de mesma hierarquia.

No segundo mapa (Figura 19), realizou-se uma generalização, um maior agrupamento entre as classes, onde a definição das semelhanças e divergências não foi tão rígida. Considerou-se equivalente a classe de uma metodologia que está no mesmo nível hierárquico que a classe de outra metodologia (Tabela 18), e também quando são adjacentes, ou seja, imediatamente acima ou imediatamente abaixo de um determinado nível hierárquico. Assim, por exemplo, a classe Média da Carta de Fragilidade Ambiental é considerada semelhante, na Carta de Vulnerabilidade à Erosão, à classe Medianamente Estável, que está no mesmo nível hierárquico, e também às classes adjacentes Moderadamente Estável, que está um nível imediatamente abaixo, e Moderadamente Vulnerável, que se localiza um nível imediatamente acima. Este padrão foi aplicado às demais classes temáticas na comparação entre as metodologias, de forma que fosse possível ter uma análise comparativa mais refinada (Tabela 19).

Tabela 19 – Correlação no mesmo nível e nas classes adjacentes entre as classes de Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade à Erosão

<b>CLASSES DE FRAGILIDADE AMBIENTAL</b>		<b>CLASSES DE VULNERABILIDADE À EROSIÃO</b>
MUITO FRACA	=	ESTÁVEL e MODERADAMENTE ESTÁVEL
FRACA	=	ESTÁVEL, MODERADAMENTE ESTÁVEL e MEDIANAMENTE ESTÁVEL
MÉDIA	=	MODERADAMENTE ESTÁVEL, MEDIANAMENTE ESTÁVEL e MODERADAMENTE VULNERÁVEL
FORTE	=	MEDIANAMENTE ESTÁVEL, MODERADAMENTE VULNERÁVEL e VULNERÁVEL
MUITO FORTE	=	MODERADAMENTE VULNERÁVEL e VULNERÁVEL

Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado.

# RODOANEL LESTE COMPARAÇÃO FRAGILIDADE/ VULNERABILIDADE (CARTA 2)

- SEMELHANÇA
- DIVERGÊNCIA
- Rodoanel Leste

Carta de Comparação entre as metodologias de: Fragilidade Ambiental - Ross (1994), e Vulnerabilidade à Erosão - Crepani et al. (2001). Semelhanças e divergências estabelecidas entre classes temáticas de mesmo nível hierárquico, e entre classes temáticas adjacentes - imediatamente acima ou imediatamente abaixo de um determinado nível hierárquico.



Escala 1:150.000

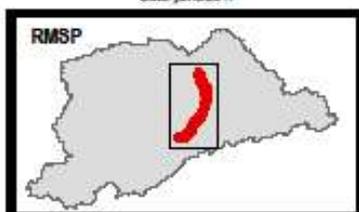
Projeção Universal Transversa de Mercator

Datum Vertical: Imbituba-SC

Datum Horizontal: SAD-69

Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"

Organização e Elaboração: Carlos Roberto Ubonati Machado  
Data: julho/2011



Mapa de Localização

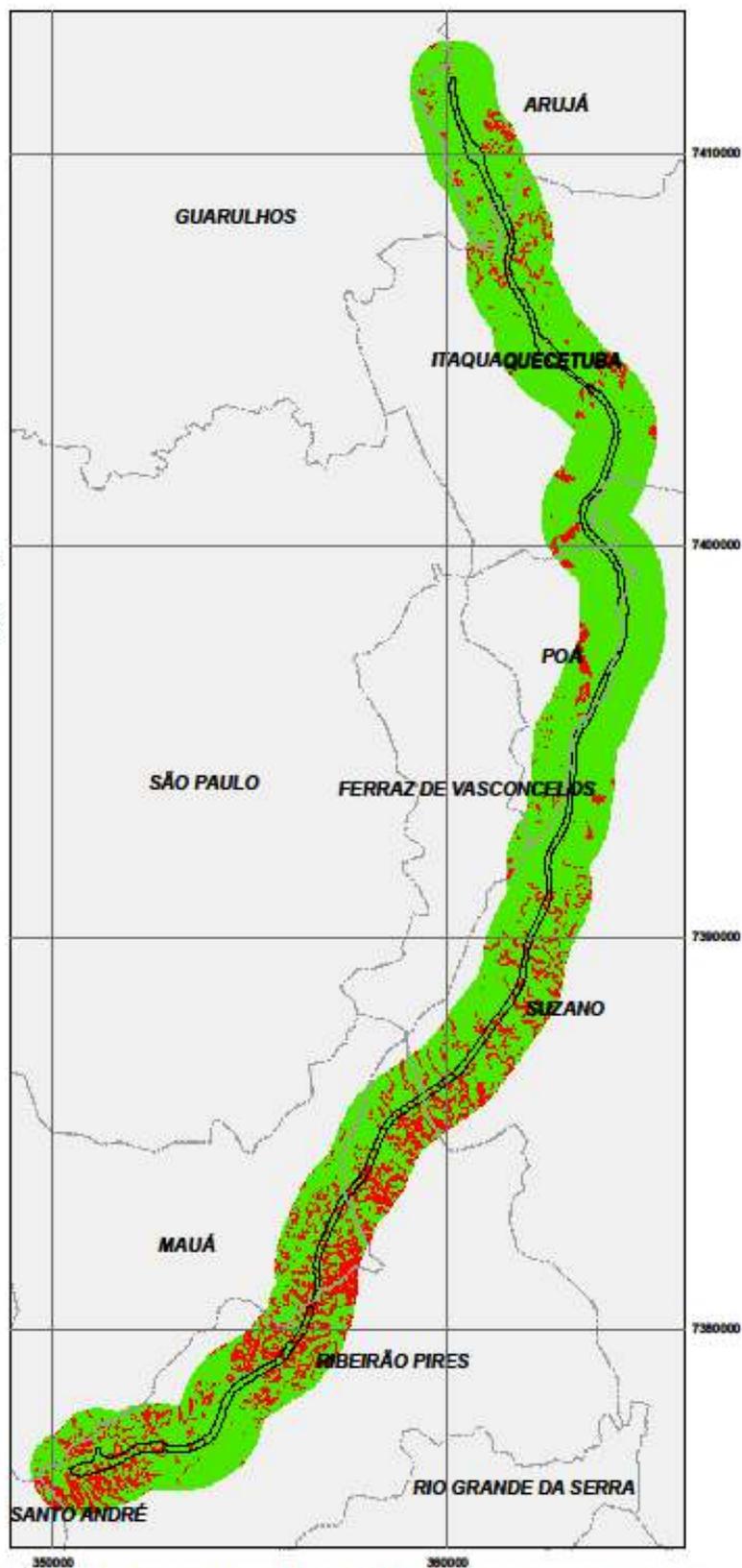


Figura 19 - Comparação Fragilidade/Vulnerabilidade Rodoanel Leste - Carta 2

Quando se considera um grau mais elevado de generalização das equivalências das classes (Tabela 19), o resultado é inverso (Figura 19). Há um acréscimo expressivo das semelhanças, 84% da área analisada, enquanto 16% permanece divergente (Gráfico 8).

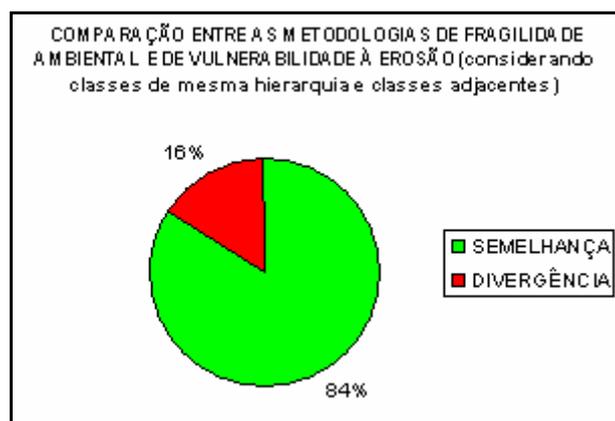


Gráfico 8: Semelhanças e Divergências entre as propostas de Ross (1994) e Crepani et al. (2001) – considerando classes de mesma hierarquia e classes adjacentes.

A comparação dos resultados das Figuras 18 e 19 permite constatar que:

- em relação às semelhanças, como ambas metodologias propõem uma síntese dividida em cinco classes temáticas, ao se considerar semelhante a classe de uma proposta com até três classes de outra proposta metodológica, um maior grau de semelhança já seria esperado;
- a observação mais interessante é na questão das divergências encontradas. O fato de 16% ainda continuar divergente, demonstra como as metodologias, mesmo com esta aproximação conceitual na verificação das semelhanças e divergências, possuem tratamento muito desigual em suas propostas.

Como pode ser visto na segunda carta (Figura 19), as divergências se localizam preferencialmente nas áreas da metade sul do Trecho Leste do Rodoanel, principalmente duas grandes concentrações, na junção com o Trecho Sul do Rodoanel, e nos limites entre os municípios de Ribeirão Pires e Mauá. Os terrenos

localizados nestas áreas são formados por morros que apresentam grandes declividades, o que explica a condição de forte fragilidade ambiental na proposta de Ross (1994). No entanto são esculpidos em litologias graníticas que possuem grande resistência aos processos erosivos, e se situam em áreas com legislação de restrição ambiental, o Parque Municipal da Gruta Santa Luzia nos limites entre Mauá e Ribeirão Pires e áreas de Preservação aos Mananciais junto à Represa Billings no extremo sul da área pesquisada, exibindo portanto, uma cobertura vegetal densa e homogênea, estabelecendo assim uma vulnerabilidade muito estável na proposta de Crepani et al. (2001).

#### **4.3.3 Geração Automática de Traçados**

Com o intuito de compreender a relação entre as metodologias de análise ambiental aplicadas neste trabalho e o traçado oficial do Rodoanel, foram criados, por um processo automático no software ArcGIS com a extensão *Spatial Analyst*, dois novos traçados. O primeiro tendo como base a Carta de Fragilidade Ambiental (ROSS, 1994), e o segundo de acordo com a Carta de Vulnerabilidade à Erosão (CREPANI et al., 2001).

Para a geração automática de traçados são necessários alguns elementos, os primeiros são denominados como Vértices de Origem e de Destino, cuja função é estabelecer os pontos onde se iniciarão e finalizarão os traçados automáticos. O outro elemento é chamado de Superfície de Custo, que representa o conjunto de fatores que afetam o deslocamento, resultante da combinação ponderada das variáveis que intervêm no custo de atravessar uma determinada área.

Na análise do caminho de menor custo usa-se a função *Least-cost Path Analysis*, onde são avaliados os *pixels* (células) da Superfície de Custo. O caminho percorre as células que tem o menor custo acumulado. Este processo é repetido até a origem e o destino se encontrarem ligados. O caminho traçado representa a soma mais baixa de valores de células entre os dois pontos.

Em relação aos vértices, foi estabelecido que o primeiro, denominado Origem, se localiza na junção com o final do Trecho Sul do Rodoanel, entre os municípios de Mauá e Ribeirão Pires, local onde se iniciará o Trecho Leste do Rodoanel. O segundo vértice, denominado Destino, foi fixado no ponto em que haverá a futura ligação entre os Trechos Norte e Leste do Rodoanel, ponto onde será finalizado o Trecho Leste segundo DERSA (2008a).

As cartas de Fragilidade Ambiental (Figura 14), e de Vulnerabilidade à Erosão (Figura 15), foram usadas com as duas Superfícies de Custo. Desta forma, na Carta de Fragilidade Ambiental, é mais custosa a passagem por áreas classificadas com fragilidade Muito Forte até se chegar às classes com fragilidade Muito Fraca, que são as menos custosas ao deslocamento. Em relação à Carta de Vulnerabilidade à Erosão, segue-se o mesmo raciocínio, a classe Vulnerável possui maior custo de passagem, enquanto a classe Estável apresenta o menor custo ao deslocamento.

Posteriormente, foi executado o algoritmo de criação do caminho de menor custo, ligando a origem ao destino. Geraram-se então, um traçado levando em consideração as classes de Fragilidade Ambiental estabelecidas por Ross (1994), e o outro traçado contemplando as classes de Vulnerabilidade à Erosão, determinadas por Crepani et al. (2001) (Figura 20).

# RODOANEL LESTE TRAJETOS ROSS e CREPANI

-  TRAÇADO ROSS
-  TRAÇADO CREPANI
-  TRAÇADO DERSA

Carta dos Trajetos do Rodoanel efetuados sobre as classes de Fragilidade Ambiental (ROSS, 1994), e as classes de Vulnerabilidade à Erosão (CREPANI et al., 2001). Processo automático executado no software ArcGIS extensão Spatial Analyst.



Escala 1:150.000

Projeção Universal Transversa de Mercator

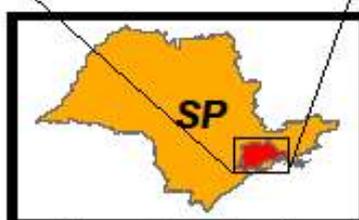
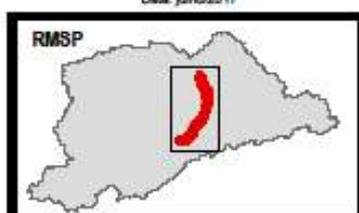
Datum Vertical: Imbituba-SC

Datum Horizontal: SAD-69

Origem da km UTM "Equador e Meridiano 45°W GR"

Organização e Elaboração: Carlos Roberto Ubonati Machado

Data: julho/2011



Mapa de Localização

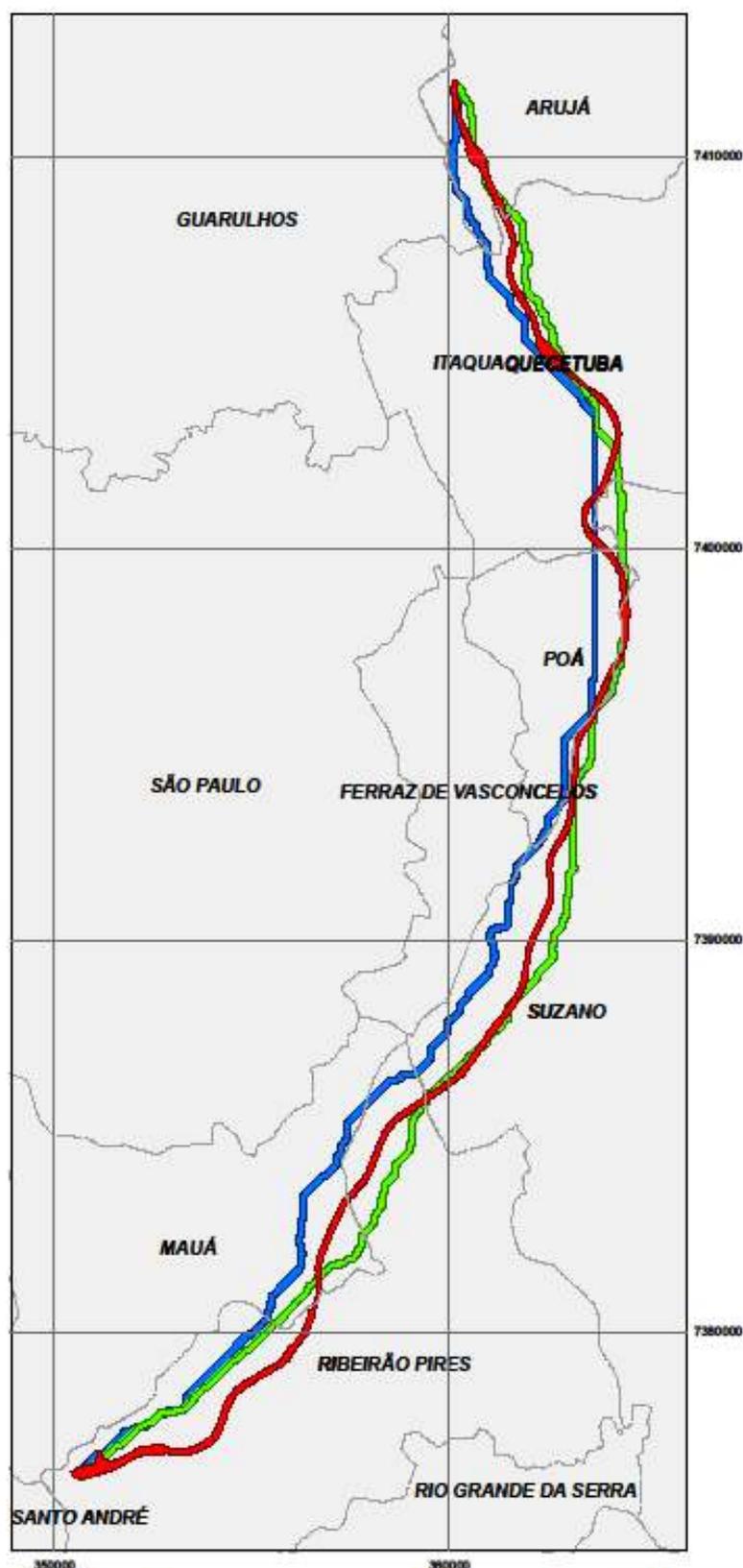


Figura 20 - Trajetos Rodoanel Leste - Ross (1994) e Crepani et al. (2001)

Ao analisar este mapa, observa-se que na comparação entre os dois novos trajetos executados automaticamente, aquele que melhor se encaixa no trajeto real do Rodoanel, é o que foi traçado usando os parâmetros de Vulnerabilidade à Erosão, proposto por Crepani et al. (2001). Este melhor resultado se deve, basicamente, pela forma como as metodologias ponderam a questão do modelado e da estrutura geológica dos terrenos. Enquanto a proposta de Ross (1994) vislumbra que, os terrenos mais planos possuem os menores custos ao deslocamento (são menos frágeis), a proposta de Crepani et al. (2001) estabelece que os menores custos (menor vulnerabilidade) são as áreas formadas por colinas e morrotes, de média a baixa declividade, e em solos com profundidade moderada. Portanto, no trajeto efetuado sobre o mapa de Fragilidade Ambiental, o percurso se dá buscando os terrenos com menores declividades, se estabelecendo próximo às várzeas dos rios. Em contrapartida, no trajeto executado sobre o mapa de Vulnerabilidade à Erosão, estes terrenos localizados juntos às planícies de inundação são evitados.

Esta diferença básica entre as propostas é visivelmente observada no trecho localizado logo após os limites entre os municípios de Ribeirão Pires e Suzano, em direção ao norte, na área que compreende a várzea do Rio Guaió, que se estende desde suas cabeceiras em Mauá, até desaguar no rio Tietê na divisa dos municípios de Suzano e Poá. Assim, é nesta área que se verificam as maiores distâncias entre os dois traçados, e também, é onde o trajeto desenvolvido sobre o mapa de Vulnerabilidade à Erosão obtêm as maiores coincidências com o trajeto oficial do Rodoanel (Figura 21).

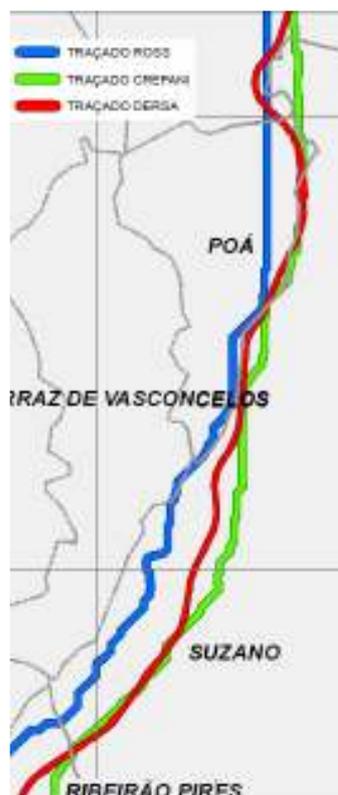


Figura 21: Comparação entre o traçado do Rodoanel (DERSA) e os traçados gerados automaticamente (ROSS e CREPANI)

Ao cruzar os novos trajetos com o trajeto oficial do Rodoanel, obtêm-se informações mais detalhadas sobre a comparação das propostas metodológicas. Da intersecção das áreas correspondentes à totalidade das faixas de domínio dos trajetos, chega-se aos resultados mostrados na Tabela 20.

Tabela 20 – Comparação quantitativa e percentual entre os Trajetos do Rodoanel

TRAJETOS	FAIXA de DOMÍNIO	INTERSECÇÃO DERSA	INTERSECÇÃO ROSS - CREPANI 0,42 km <sup>2</sup> (6%)
<i>DERSA</i>	6,45 km <sup>2</sup>	6,45 km <sup>2</sup> (100%)	
<i>ROSS</i>	6,98 km <sup>2</sup>	0,28 km <sup>2</sup> (4,3%)	
<i>CREPANI</i>	7,05 km <sup>2</sup>	1,37 km <sup>2</sup> (21,2%)	

Elaboração: Carlos Roberto Libonati Machado.

Segundo os dados da tabela, o traçado efetuado de acordo com a proposta de Ross (1994) intersecciona apenas 4,3% do traçado do Rodoanel, enquanto pela proposta de Crepani et al. (2001), a coincidência chega a 21,2%. Entre os trajetos

das duas propostas metodológicas há uma intersecção de aproximadamente 6%. Em decorrência, pode-se supor que a metodologia de Vulnerabilidade à Erosão é muito mais próxima da análise efetuada pelo DERSA, que enfoca e dá mais relevância aos parâmetros relacionados à engenharia, do que da metodologia de Fragilidade Ambiental, que em termos conceituais é muito mais próxima.

Ao pesquisar a metodologia aplicada na definição do traçado para o Trecho Leste do Rodoanel, segundo DERSA (2008a), observa-se que foi realizada uma avaliação por meio de análise multi-critério, que incluiu critérios técnicos de: engenharia rodoviária, características ambientais, e aspectos econômicos e políticos. Assim, foram consideradas as variáveis dos componentes do meio físico, meio biológico e meio antrópico, tais como topografia, tipos de terrenos, solos, formações florestais significativas, áreas urbanas consolidadas ou em consolidação, e áreas agrícolas; e também as variáveis específicas sobre as características do empreendimento, como a geometria do traçado, os procedimentos, métodos e custos construtivos, e os procedimentos e custos operacionais.

Em relação aos critérios ambientais, nota-se que o traçado buscou: 1) contemplar e se inserir em áreas antropizadas de baixa densidade de ocupação, não interferindo com atividades econômicas consolidadas (indústrias, centros comerciais e de serviços de grande porte); 2) privilegiar o percurso sobre relevos favoráveis e de menor fragilidade, como colinas, morrotes e morros baixos, não utilizando áreas de planícies aluviais com seus solos inconsolidados; 3) evitar os fragmentos florestais significativos e as unidades de conservação.

Deste ponto de vista, a avaliação ambiental efetuada pelo DERSA (2008a) corrobora a proposta metodológica de Crepani et al. (2001). Assim ficaram

destacados os procedimentos de análise da vulnerabilidade à erosão, que consideram uma ponderação geral de todas as variáveis ambientais analisadas.

Contudo, outro aspecto importante é admitir a importância dos aspectos da engenharia rodoviária no traçado oficial do Rodoanel. Apesar das propostas metodológicas aqui tratadas e seus resultados servirem de subsídio para o planejamento e gerenciamento do uso e ocupação do espaço, permitindo uma maior agilidade no processo de tomada de decisões, a questão da geometria do traçado, com suas rampas e sinuosidades, a questão do tráfego local, com as vias que serão cortadas, e o custo de implantação da obra foram abarcados na definição final do traçado.

A composição das variáveis ambientais e da engenharia no Trecho Leste do Rodoanel pode ser didaticamente observada em dois pontos específicos, onde as restrições ambientais se mostraram mais inadequadas à construção do leito rodoviário, e onde também segundo a proposta de Crepani et al. (2001) o terreno apresentava um maior grau de vulnerabilidade. O primeiro trecho se localiza na passagem próximo ao Parque Municipal da Gruta Santa Luzia (Foto 3), uma área que apresenta morros altos e declividades acentuadas, além de comportar uma Unidade de Conservação; e o segundo trecho na planície aluvial do rio Tietê (Foto 1), que possui terrenos inconsolidados não favoráveis à implantação da rodovia, além de cavas de mineração de areia (Foto 7). Nessas áreas, onde as restrições ambientais e os impactos associados foram considerados muito intensos, efetuou-se a transposição por viadutos em alguns trechos da planície aluvial, e por túneis ao cruzar com morros altos sustentados por granitos (DERSA, 2008a).

#### **4.4 NÍVEL NORMATIVO: RESULTADOS FINAIS E PROPOSIÇÕES**

Primeiramente, é importante mencionar que, o ambiente, por se constituir em um sistema com altíssimo grau de complexidade, tanto das combinações, derivada do número de variáveis ambientais e de suas interações, como de sua dinâmica, derivada do padrão de comportamento que as variáveis ambientais têm ao longo do tempo, pressupõe que seja analisado de forma ampla e extensa, e com uma visão interdisciplinar, de forma que possam ser compreendidas as relações entre sociedade e natureza de forma integrada.

Nesse contexto, o conhecimento da distribuição espacial das diversas formas de ocupação do espaço necessita de um sistema de informações detalhadas, com um nível de atualização constante, devido ao caráter extremamente dinâmico desse ambiente. Os sistemas sensores orbitais imageando periodicamente a Terra, gerando os produtos do Sensoriamento Remoto, que combinados com o processamento de imagens e com a capacidade de armazenamento e de associação da informação ao espaço geográfico através de um SIG, torna a análise espacial por Geoprocessamento uma ferramenta de grande auxílio aos planejadores e tomadores de decisão, oferecendo diversas possibilidades de extrações de informações e análises dinâmicas do ambiente.

No entanto, para que, tanto as técnicas do Geoprocessamento quanto os produtos do Sensoriamento Remoto, sejam utilizados adequadamente para analisar os ambientes, suas potencialidades, fragilidades e restrições, são necessários metodologias que consigam expressar a realidade dos ambientes de forma mais satisfatória possível. Desta forma, duas metodologias de análise ambiental, de Ross (1994) e de Crepani et al. (2001), foram aplicadas na compreensão da fragilidade / vulnerabilidade ambiental do Trecho Leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo.

Ambas as metodologias permitem a integração de dados e estabelecem a contribuição de cada variável geográfica para o resultado desejado, definem um roteiro de trabalho que consiste numa seqüência de etapas a serem cumpridas, incluindo levantamento, análise e síntese, e determinam um conjunto de operações executáveis em um SIG, que materializam computacionalmente a seqüência de etapas anterior.

Assim, o levantamento das informações topográficas, da estrutura geológica, da cobertura pedológica, do tipo de modelado, das condições climatológicas, da cobertura vegetal e uso do solo, além das observações de campo, permitiram gerar diferentes mapas temáticos, que contribuíram analiticamente e foram imprescindíveis na análise ambiental da área pesquisada.

Em relação à proposta de Ross (1994), ela resultou em uma síntese que classificou a área, em termos gerais, entre as unidades das classes Fraca a Muito Forte, em virtude da ênfase dada aos aspectos do relevo; e especificamente nas unidades localizadas próximas às várzeas dos rios, a fragilidade apresentou fragilidade Muito Fraca em virtude do relevo plano, o que não condiz com as suas condições reais.

No que concerne à metodologia de Crepani et al. (2001), ao se trabalhar com médias, há de um lado uma subestimação da fragilidade de algumas unidades, como por exemplo, áreas formadas por rochas cristalinas, e de outro lado, também pode apresentar uma superestimação da vulnerabilidade à erosão, principalmente nas áreas onde ocorrem unidades compostas por rochas sedimentares, acarretando uma distribuição maior entre as classes intermediárias de vulnerabilidade.

Ao se comparar os resultados obtidos com as duas metodologias, em relação às suas semelhanças e diferenças, verifica-se que, a forma de se ponderar os

aspectos do modelado e da estrutura geológica do relevo é preponderante na definição dos produtos finais de síntese, a Carta de Fragilidade Ambiental e a Carta de Vulnerabilidade à Erosão. De uma forma geral, o grau de semelhança entre as propostas foi de apenas 15% quando são consideradas as mesmas classes hierárquicas, e chega a 84% quando esta semelhança considera também as classes adjacentes. O fato de 16% ainda continuar divergente, demonstra como as metodologias, mesmo com esta aproximação categórica entre as classes de Fragilidade e de Vulnerabilidade, possuem tratamento metodológico muito desigual em suas propostas.

Este aspecto se torna mais evidente quando são aplicados os algoritmos de geração automática de caminhos de acordo com o custo de transposição. Foi permitida a comparação entre os novos trajetos gerados, em virtude da fragilidade / vulnerabilidade dos terrenos, e também entre estes e o trajeto definido pelo DERSA. Assim, enquanto o trajeto efetuado baseado na proposta de Ross (1994) busca os terrenos com menores declividades, se estabelecendo próximo às várzeas dos rios, o traçado executado sobre a proposta de Crepani et al. (2001) evita estas áreas em razão da sua vulnerabilidade. Percentualmente, na comparação entre os dois novos trajetos há uma concordância apenas de 6%. O trajeto efetuado na metodologia de Fragilidade Ambiental concorda em aproximadamente 4% com o trajeto oficial, enquanto aquele executado na metodologia de Vulnerabilidade à Erosão coincide em torno de 21%.

Após todas estas comparações e análises efetuadas sobre os dois documentos de síntese, a Carta de Fragilidade Ambiental e a Carta de Vulnerabilidade à Erosão, sobre os trajetos gerados automaticamente a partir destas cartas, além do conhecimento que se tem sobre as características e condições ambientais da área

de análise, foi possível verificar que a metodologia de Crepani et al. (2001) é a que apresenta maior compatibilidade com a área de estudo, pois contempla uma ponderação maior das variáveis ambientais trabalhadas, chegando a resultados mais próximos do traçado do Rodoanel Leste definido pelo DERSA. Em contrapartida, a metodologia de Ross (1994), em virtude do destaque dado à variável relevo, o enfoque se torna mais geomorfológico, ou seja, menos abrangente ao realizar uma análise integrada do ambiente.

Contudo ao definir o traçado de uma rodovia, as variáveis que estabelecem os critérios e os aspectos de engenharia rodoviária parecem ter sido preponderantes. Características como geometria do traçado, métodos construtivos e procedimentos operacionais, historicamente utilizados na definição do trajeto rodoviário devem ser analisadas conjuntamente com as variáveis ambientais. Este fato traz à tona, as limitações inerentes às metodologias de análise ambiental na proposição dos diferentes tipos de inserções antrópicas no ambiente. Pois, mesmo que apreciem uma gama considerável de variáveis, faltam a elas a análise de variáveis específicas do tipo de empreendimento.

No entanto, de uma forma geral, conclui-se que, embora as metodologias aplicadas não consigam expressar e modelar toda a complexidade dos sistemas ambientais, já que acarretam em abstrações da realidade, e são baseadas em conceitos, possuindo portanto limitações, elas são importantes mecanismos no planejamento e gerenciamento no uso e ocupação do espaço, contribuindo com subsídios para que as intervenções humanas no meio ocorram com impactos ambientais reduzidos.

Este fato possibilita considerar, que mesmo a análise ambiental sendo um importante instrumento básico na definição do traçado mais adequado, contribuindo

com informações primordiais e subsidiando a engenharia na escolha das técnicas construtivas mais adequadas para que os impactos ambientais sejam minimizados, são os aspectos econômicos e também os políticos, tais como a diminuição de cortes e aterros, a questão das desapropriações, e também as demandas e interesses políticos regionais e municipais, dentre outros não necessariamente ambientais, que possuem uma relevância maior no estabelecimento da diretriz final do traçado, como foi observado na análise do EIA/RIMA do projeto (DERSA, 2008a, 2008b).

Como se observa nos resultados obtidos nesta pesquisa, apesar da análise se restringir à faixa de apenas um quilômetro distante do eixo do Rodoanel determinado pelo DERSA, diminuindo assim as possibilidades de estabelecimento de trajetos mais distantes, e também com a definição de se iniciar e finalizar nos mesmos pontos, o trajeto executado levando em consideração as classes de Vulnerabilidade à Erosão proposta por Crepani et al. (2001), que foi a mais próxima deste eixo, apresentou apenas em torno de 21% de faixas de domínio coincidentes com o Trecho Leste do Rodoanel.

Com isso, é possível demonstrar que, embora a legislação estabeleça a necessidade de considerar os aspectos ambientais na instalação de obra ou atividade potencialmente causadora de significativa degradação do ambiente, através dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA), a análise ambiental normalmente sempre é realizada após a definição das alternativas de trajeto, e as variáveis ambientais tem pouco peso se comparadas à importância dada aos fatores econômicos e políticos (LISBOA, 2002).

Para que houvesse uma maior verificação desta questão, uma análise mais rigorosa sobre o quanto a variável ambiental tem influência na definição dos

traçados rodoviários necessitaria ser realizada. Também seria imprescindível, adaptar as propostas de análise ambiental, incluindo fatores específicos ao tipo de empreendimento a ser realizado e à área onde será implantado.

## 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As metodologias de análise ambiental são importantes instrumentos que servem de subsídio para o planejamento e gestão territorial, e para os zoneamentos ecológico-econômicos. No entanto, como o projeto geométrico de uma rodovia, resulta da análise conjunta de inúmeras características, o conhecimento do ambiente deve ser abarcado por uma visão integrada e complexa dos aspectos envolvidos, através da adaptação destas metodologias, utilizando novas variáveis e as ponderando de acordo com o tipo de empreendimento e a área de estudo.

As tecnologias associadas ao Geoprocessamento e os produtos do Sensoriamento Remoto permitem obter um conhecimento mais abrangente da realidade analisada, possibilitando modelar e abstrair o mundo real para o domínio matemático – computacional, e processar os dados desta realidade, analisando o ambiente de forma mais complexa e ágil. Contudo, na escolha dos dados dos sensores, é preciso avaliar os mapas derivados das classificações digitais. As características do sensor, em relação às resoluções espectrais, espaciais e radiométricas, são variáveis que interferem na qualidade final do produto.

Na comparação entre o traçado oficial do Trecho Leste do Rodoanel e os gerados automaticamente, baseando-se nas metodologias analisadas neste trabalho, verificou-se que a proposta de Crepani et al. (2001) é a que apresenta maior compatibilidade com a área analisada, sendo mais abrangente ao analisar o ambiente. Mesmo assim, as variáveis ambientais possuem uma importância relativa, já que os aspectos econômicos e políticos são os que parecem ter sido mais relevantes na definição do traçado final pelo DERSA.

## REFERÊNCIAS

- ANDERSON, J. R.; HARDY, E.E.; ROACH, J.T.; WITMER, R.F. *Sistema de classificação de uso da terra e do revestimento do solo para utilização como dados de sensoriamento remoto*. Trad. Harold Strang. Rio de Janeiro: IBGE, 1976.
- ANJOS, C. S. dos; BORGES, E. F.; SANTOS, P. S. Paralelo radiométrico entre os sensores LISS-3/IRS, CCD/CBERS-2B e TM/LANDSAT-5. In: *XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Anais. Curitiba: INPE, 2011.
- ARAÚJO, E. H. G.; KUX, H. J. H.; FLORENZANO, T. G. Análise multitemporal de dois bairros de Belo Horizonte (MG) usando classificação orientada a objetos de imagens Quickbird e inferências espaciais. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. J. H. (Orgs.). *Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores, métodos inovadores*. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- ARONOFF, S. *Geographic Information Systems: a management perspective*. Ottawa: WDI Publications, 1989.
- BERTALANFFY, L. V. *Teoria geral dos sistemas*. Petrópolis: Vozes, 1972.
- BERTRAND, G. *Paisagem e geografia física global: esboço metodológico*. Caderno de Ciências da Terra, n. 13, São Paulo: IGEO/USP, 1971.
- BRITES, R. S.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S. Comparação de desempenho entre três índices de exatidão aplicados a classificações de imagens orbitais. In: *VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Anais. Salvador: INPE, 1996.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. *Introdução à ciência da geoinformação*. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CAMPBELL, J. B. *Introduction to remote sensing*. 2. ed. New York: The Guilford Press, 1996.
- Canada Centre for Remote Sensing (CCRS). *Fundamentals of Remote Sensing*. Disponível em: <http://www.colorado.edu/geography/virtdept/contents.html>. Acesso em 26 Jan. 2010.
- CARVALHO, I. C. M. *Em direção ao mundo da vida: interdisciplinaridade e educação ambiental*. Brasília: IPÊ – Instituto de Pesquisas Ecológicas, 1998.
- CHUVIECO, E. *Fundamentos de teledetección espacial*. 3. ed. revisada. Madrid: RIALP, 1996.
- CORRÊA, R. L. *O espaço urbano*. 3. ed. São Paulo: Ática, 1995.

- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. *Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico*. São José dos Campos: INPE, 1996.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CROSTA, A. P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas: Unicamp, 1992.
- DANTAS, A. S. Sistemas de Informação Geográfica em Transporte: estado da arte. In: *Anais do congresso de pesquisa e ensino em transportes*. Brasília, 1996.
- DE BIASI, M. de. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. *Revista do Departamento de Geografia*, n. 6. São Paulo: FFLCH – USP, 1992.
- Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). *Banco de dados pluviométricos do estado de São Paulo*. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/bdhm.exe/plu>. Acesso em 4 mar. 2011.
- DERSA – DESENVOLVIMENTO RODOVIÁRIO S.A. & CONSÓRCIO JGP – PRIME. *Trecho Leste do Rodoanel Mário Covas: estudo de impacto ambiental - EIA*. São Paulo: 2008a, Relatório técnico.
- DERSA – DESENVOLVIMENTO RODOVIÁRIO S.A. & CONSÓRCIO JGP – PRIME. *Trecho Leste do Rodoanel Mário Covas: relatório de impacto ao meio ambiente – RIMA*. São Paulo: 2008b, Relatório técnico.
- Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (EMPLASA). *Carta Geológica da Região Metropolitana de São Paulo – escala 1:50.000*. São Paulo: EEMPLASA, 1980.
- FERREIRA, M. C. Considerações teórico-metodológicas sobre as origens e a inserção do sistema de informação geográfica na geografia. In: VITTI, A. C. *Contribuições à história e à epistemologia da geografia*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.
- FITZ, P. R. *Geoprocessamento sem complicação*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- FLORENZANO, T. G. *Imagens de satélite para estudos ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- FLORENZANO, T. G. (org.) *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

- GIANNOTTI, M. A. *Geotecnologias na análise de impactos sócio-ambientais: o caso da queima de cana-de-açúcar na região de Piracicaba*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2003.
- HAMBURGER, D. S. *Utilização de Informações derivadas de características texturais de imagens orbitais na definição de classes de uso do solo urbano*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 1993.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Itaquaquecetuba. SF-23-Y-D-I-3. Rio de Janeiro, 1984. (Mapa na escala 1:50.000).
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Mauá. SF-23-Y-D-IV-1. Rio de Janeiro, 1984. (Mapa na escala 1:50.000).
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Manual técnico de uso da terra. *Série Manuais Técnicos em Geociências*. n. 7. Rio de Janeiro, 1997.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Mapa de Vegetação do Brasil*. Rio de Janeiro, 2005.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). CBERS 2B-CCD, órbita 154 / ponto 126, 01/09/2009, bandas 1, 2, 3 e 4. São José dos Campos, 2009. (Imagem de Satélite).
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). LANDSAT 5-TM, órbita 219 / ponto 076, 24/10/2009, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. São José dos Campos, 2009. (Imagem de Satélite).
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *CBERS: Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres*. Disponível em: <http://www.cbears.inpe.br/?content=index>. Acesso em 28 fev. 2011.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). *Os satélites LANDSAT 5 e 7*. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em 28 fev. 2011.
- KAWAKUBO, F. S. *Representações gráficas do relevo e álgebra de mapas: aplicações no estudo da fragilidade ambiental*. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). São Paulo: FFLCH-USP, 2005.
- LIBAULT, A. *Os quatro níveis da pesquisa geográfica*. Métodos em questão. São Paulo: IGEO/USP, n.1, 1971.
- LISBOA, M. V. *Contribuição para tomada de decisão na classificação e seleção de alternativas de traçado para rodovias em trechos urbanizados*. Dissertação (Mestrado em Engenharia). São Paulo: Escola Politécnica - USP, 2002.
- LOCH, C. *A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2008.

- MACHADO, C. R. L. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados à análise ambiental do trecho leste do Rodoanel Metropolitano de São Paulo. *IV Seminário de pesquisa em geografia física – SEPEGE*. São Paulo: FFLCH-USP, 2009.
- MELO, D. H. C. T. B. *Uso de dados Ikonos II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2002.
- MENDONÇA, F. A. *Geografia e meio ambiente*. São Paulo: Contexto, 2008.
- MONTEIRO, C. A. F. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas. In: *Anais do Simpósio sobre comunidade vegetal como unidade biológica, turística e econômica*. São Paulo: Academia de Ciências do Estado de São Paulo, 1978.
- NOVO, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher, 1988.
- OLIVEIRA, J. B. *Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, 1999. Boletim Científico.
- OLIVEIRA, J. B. de; CAMARGO, M. N. de; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. *Mapa Pedológico do Estado de São Paulo – escala 1:500.000*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, 1999.
- QUEIROZ FILHO, A. P. & MARTINELLI, M. Cartografia de análise e de síntese na geografia. *Boletim Paulista de Geografia, n. 87*. São Paulo: AGB, 2007.
- RODRIGUES, M. Introdução ao geoprocessamento. *Anais do Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento*. São Paulo: Escola Politécnica USP, 1990.
- ROCHA, C. H. B. *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar*. Juiz de Fora: UFJF, 2007.
- ROSA, M. R. & ROSS, J. L. S. Aplicação de SIG na geração de cartas de fragilidade. *Revista do Departamento de Geografia, n. 13*. São Paulo: FFLCH – USP, 1999.
- ROSS, J. L. S. *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. São Paulo: Contexto, 1990.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *Revista do Departamento de Geografia, n. 8*. São Paulo: FFLCH – USP, 1994.
- ROSS, J. L. S. Análises e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. *Revista do Departamento de Geografia, n. 9*. São Paulo: FFLCH – USP, 1995.

- ROSS, J. L. S. *Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.
- SABINS, F.F. *Remote sensing. Principles and Interpretation*. San Francisco: W. H. Freeman, 1978.
- SÁNCHEZ, L. E. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- SPÖRL, C. *Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata*. Dissertação (Mestrado em Geografia Física). São Paulo: FFLCH-USP, 2001.
- SPÖRL, C. *Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais artificiais*. Tese (Doutorado em Geografia Física). São Paulo: FFLCH-USP, 2007.
- TARIFA, J. R. & AZEVEDO, T. R. (orgs.) *Os climas na cidade de São Paulo: teoria e prática*. São Paulo: Laboratório de Climatologia e Biogeografia – Departamento de Geografia – FFLCH-USP, 2001.
- TAUK, S. M. (org.) *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar*. São Paulo: UNESP, 1991.
- TEIXEIRA, A.; MORETTI, E; CHRISTOFOLETTI. *Introdução aos sistemas de informação geográfica*. Rio Claro: Edição do Autor, 1992.
- THOMAZIELLO, S. Usos da terra e sua influência sobre a qualidade ambiental. In: SANTOS, S. F. dos (org.) *Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente – MMA, 2007.
- TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: FIBGE / SUPREN, 1977.
- VENTURI, L. A. B. (org.) *Praticando a geografia: técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.