UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

**ESTUDO COMPARATIVO DA VARIAÇÃO DE ESCALA NA FRAGILIDADE
AMBIENTAL E VULNERABILIDADE NATURAL DO SOLO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ.**

MARIANA GUARNIER FAGUNDES

São Paulo
2013

MARIANA GUARNIER FAGUNDES

**ESTUDO COMPARATIVO DA VARIAÇÃO DE ESCALA NA FRAGILIDADE
AMBIENTAL E VULNERABILIDADE NATURAL DO SOLO NA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ.**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Alfredo Pereira de Queiroz Filho

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Departamento de Geografia da
Faculdade de Filosofia Letras e
Ciências Humanas – FFLCH , da
Universidade de São Paulo – USP.

**São Paulo
2013**

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, o Prof. Dr. Alfredo Pereira de Queiroz Filho pela paciência, incentivo, sugestões e confiança durante todas as etapas deste trabalho.

Aos meus amigo e colegas da Regea Geologia e Estudos Ambientais, pela ajuda na elaboração das bases, apoio para a realização dessa pesquisa e compreensão nos momentos de maior tensão.

Aos meus pais, meu marido e amigos por acreditarem e estimularem este trabalho.

Pedro Simões com a ajuda na elaboração do tema geologia, Luiz Gustavo com a ajuda na digitalização das bases temáticas, Julia Freitas, Augusto Barbosa e Patrícia Pereira e Maria Cecília Manoel pelas sugestões.

Samuel Adami e Tânia Maria do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) pela orientação e auxílio com relação ao levantamento pedológico.

Aos professores Doutores Jurandyr Ross e Ailton Luchiari pelas valiosas críticas e sugestões durante a qualificação.

Ao professor Doutor Jurandyr Ross pela paciência e disponibilidade de auxílio na etapa de adequação do Mapa Pedológico e confecção das Seções topográficas.

À pesquisadora Kátia Canil pelas boas referências e indicações.

Muito obrigada a todos.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo comparativo sobre a variação de escala (1:50.000 e 1:250.000) nas metodologias desenvolvidas por ROSS (1994) e por CREPANI (2001), na geração de cartas de fragilidade ambiental e de vulnerabilidade natural à perda do solo.

Cada metodologia apresenta uma forma particular de calcular os graus de fragilidade ambiental e vulnerabilidade à perda do solo, mas ambas se baseiam no princípio da ecodinâmica de Tricart, no qual os processos de pedogênese (formadores de solo) e morfogênese (modificadores das formas de relevo) são os principais atores na classificação do meio ambiente.

Nesta classificação ocorre a compartimentação do meio ambiente em áreas homólogas, o que permite o agrupamento e a síntese das informações referentes ao meio físico, como também relativas às intervenções antrópicas dentro dessas áreas. Este processo é realizado dentro de um SIG (Sistema de Informação Geográfica).

O efeito da variação de escala no modelo de fragilidade ambiental possui maior representatividade para o tema geomorfologia. Os demais temas não sofrem alteração significativa, na medida em que ficam subjugados ao índice de dissecação do relevo, sendo esta variável a determinante do grau de fragilidade de cada área.

Na metodologia de Crepani a vulnerabilidade à perda do solo é decorrente da média aritmética da ponderação dos temas, de modo que, independentemente da escala, as duas cartas de vulnerabilidade à perda do solo apresentam os valores extremos (muita baixa e muito forte) atenuados, e o valor mediano preponderante.

Tendo em vista que em função do menor grau de detalhamento das curvas de nível e densidade de drenagem na escala 1:250.000, quando comparadas a 1:50.000, as formas de relevo, declividade e os tipos de solos a elas associados possuem valores reduzidos de ponderação quanto à estabilidade, sendo mais brandos na escala 1:250.000 e mais marcantes na escala 1:50.000.

Deste modo, as classes de fragilidade ambiental forte e muito forte são mais expressivas na escala 1:50.000, enquanto as classes fraca e muito fraca aparecem com maior frequência na escala 1:250.000.

O mesmo acontece no valor da média calculada para a determinação do grau de vulnerabilidade à perda do solo, de modo que as classes alta e muito alta são mais expressivas na escala 1:50.000, enquanto as classes baixa e muito baixa aparecem com maior frequência na escala 1:250.000.

Palavras-Chave: *Estudo Comparativo ; Variação de Escala ; Fragilidade Ambiental ; Vulnerabilidade Natural à Perda do Solo; Geoprocessamento*

ABSTRACT

This paper presents a comparative study on the variation of scale (1:50,000 and 1:250,000) on methodologies developed by Ross (1994) and CREPANI (2001), the generation of letters of environmental fragility and vulnerability to natural soil loss .

Each methodology presents a particular form of calculating the degrees of environmental fragility and susceptibility to loss of the soil, but both are based on the principle of ecodynamics Tricart, which processes pedogenesis (forming ground) and morphogenesis (modifiers landforms) are the main actors in the classification of the environment.

This classification is the partitioning of the environment in homologous areas, allowing grouping and summary information relating to the physical environment, but also related to human interventions within these areas. This process is accomplished with a GIS (Geographic Information System).

The effect of variation in the scale model of environmental fragility has greater representation to the theme geomorphology. The other themes will not change significantly since become subdued by dissection index relief, and this variable determining the degree of fragility of each area.

In methodology Crepani vulnerability to soil loss is due to the arithmetic average of the weighting of topics, so that, regardless of the scale, two letters of vulnerability to loss of soil present extreme values (very low and very strong) attenuated and median predominant.

Considering that due to the lesser degree of detail the contours and drainage density at 1:250,000 scale, compared to 1:50,000, the landforms, slope and soil types associated with them have reduced values of weighting for stability, being more lenient on the scale 1:250,000 and 1:50,000 most striking.

Thus, the classes of environmental fragility strong and very strong are more significant on the scale of 1:50,000, while the low and very low classes appear more frequently in the scale 1:250,000.

The same happens on the average value calculated to determine the degree of vulnerability to loss of the soil, so that the high and very high classes are more significant 1:50,000, while classes low and very low appear most frequently in 1:250,000 scale.

Keywords: *Comparative Study; Change Scale; Environmental Fragility; natural vulnerability to soil loss; Geoprocessing*

Índice

1. INTRODUÇÃO	2
2. OBJETIVO GERAL	3
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. JUSTIFICATIVA	4
4. ÁREA DE ESTUDO.....	6
5. EMBASAMENTO TEÓRICO	9
6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	11
6.1. A VULNERABILIDADE DO SOLO NA METODOLOGIA DE CREPANI	12
6.2. A FRAGILIDADE AMBIENTAL NA METODOLOGIA DE ROSS	14
6.3. COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS	15
6.4. BASES CONCEITUAIS DA SUSCETIBILIDADE À EROÇÃO DOS SOLOS	21
6.5. SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÕES COM USO DO SIG	27
7. LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DE DADOS.....	32
7.1. BASE CARTOGRÁFICA	32
7.2. MODELO NUMÉRICO DE TERRENO	37
7.3. MAPA HIPSOMÉTRICO.....	39
7.4. CARTA CLINOGRÁFICA	47
7.5. MAPA GEOMORFOLÓGICO.....	52
7.6. DADOS CLIMATOLÓGICOS	58
7.7. MAPA GEOLÓGICO.....	65
7.8. MAPA PEDOLÓGICO	69
7.9. CARTA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E COBERTURA VEGETAL	73
8. DISCUSSÃO E CORRELAÇÃO DAS METODOLOGIAS	86
8.1. A FRAGILIDADE AMBIENTAL NA METODOLOGIA DE ROSS.....	87
8.2. A VULNERABILIDADE DO SOLO NA METODOLOGIA DE CREPANI	92
8.3. COMPARAÇÃO.....	100
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	110
10. BIBLIOGRAFIA	113

1. INTRODUÇÃO

Atualmente existe uma crescente preocupação com o meio ambiente, de modo a incrementar o aumento gradativo dos estudos voltados à temática ambiental, principalmente relacionada aos impactos causados pela ação antrópica.

De acordo com CHRISTOFOLETTI (2005), o conhecimento do campo de ação da geografia surge como ferramenta para a compreensão dos elementos que constituem o meio ambiente, no que se refere ao diagnóstico, análise avaliação e manejo. Engloba estudos sobre a totalidade unitária do geossistema, como também inclui e necessita dos estudos direcionados para a estrutura e dinâmica dos seus diversos elementos (climatologia, geomorfologia, hidrografia, etc).

Neste conjunto do meio natural deve-se inserir a ação e os fluxos relacionados com as atividades humanas, cuja interação torna-se participativa, tanto nas características como na dinâmica do sistema ambiental físico.

Seguindo esta linha de raciocínio, o homem, ao fazer parte do meio ambiente, atua como agente modificador capaz de alterar os solos, a vegetação, as condições hidrológicas, ou seja, é capaz de gerar mudanças nas relações das variáveis ambientais que, em primeira instância, prejudica o meio ambiente, mas, posteriormente provoca danos a si mesmo e à sociedade.

A falta de planejamento na ocupação do território culmina na desconsideração da sua capacidade de suporte, bem como na carência de estratégias de manejo conservacionista, de modo a acelerar o processo de perda do solo superficial, com comprometimento de variados tipos de uso da terra e quantidade e qualidade dos recursos hídricos.

Em face dessa situação, são crescentes os estudos voltados à harmonização do uso da terra visando um melhor entendimento da dinâmica dos sistemas ambientais naturais, para que as intervenções antrópicas sejam menos nocivas ao meio ambiente, concomitantemente à uma maior produtividade econômica e melhor qualidade de vida aos seres humanos.

Neste contexto, o uso do Sistema e Informações Geográficas (SIG) no desenvolvimento de trabalhos deste cunho é de grande utilidade, devido à grande capacidade de armazenamento, combinação de dados e atualização.

Sendo o conhecimento do território um pré-requisito aos estudos voltados à sua organização, os trabalhos de compartimentação, agrupamento e classificação da paisagem tornam-se elementos de grande importância, no que tange a questão do planejamento ambiental territorial, pois contribuem na análise das fragilidades, limitações e potencialidade relacionadas às atividades antrópicas.

Os trabalhos de ROSS (1994) e CREPANI (2001) se dedicam a elaboração de metodologias deste cunho, tendo a primeira uma carta de fragilidade ambiental como produto, e a segunda uma carta de vulnerabilidade natural à perda do solo.

Nesta perspectiva, a presente pesquisa se propõe a realizar um estudo comparativo sobre a variação de escala em ambas as metodologias, na geração de cartas de fragilidade ambiental e de vulnerabilidade natural à perda do solo

2. OBJETIVO GERAL

Realizar um estudo comparativo sobre o efeito da variação de escala nas metodologias desenvolvidas por ROSS (1994) e por CREPANI (2001), na geração de cartas de fragilidade ambiental e de vulnerabilidade natural à perda do solo, na bacia hidrográfica do rio Jundiaí.

2.1. *Objetivos específicos*

- Comparar as formas de análise e cálculo de cada metodologia contidas nos parâmetros de avaliação adotados na ponderação/ classificação de cada tema perante a variação de escala, paralelamente a um possível ajuste de escala de valores;
- Gerar duas cartas de fragilidade ambiental e duas de vulnerabilidade natural à perda do solo;
- Comparar o efeito da variação de escala (1:50.000 e 1:250.000) em ambas as metodologias;
- Elaborar um quadro comparativo referente aos resultados obtidos.

3. JUSTIFICATIVA

Acredita-se que a destinação de esforços que se proponham a apresentar novos estudos que busquem a delimitação espacial de unidades territoriais com processos atuais incidentes semelhantes, tornando-os passíveis de classificação, são de grande importância para o planejamento e gestão ambiental, na medida em que se propõe a considerar o uso da terra atual existente na área e almeje a proteção e conservação dos bens naturais, paralelamente a melhoria da qualidade de vida da população local.

Um dos fatores do mau disciplinamento do uso da terra possui sua gênese na desobediência à legislação existente, seja por falta de conhecimento, seja pelas condições de sobrevivência da população, seja ainda por interesses econômicos.

A necessidade de um desenvolvimento harmônico aliado à proteção ambiental vem acompanhar da necessidade de ações preventivas de combate à degradação do meio ambiente, no qual a inclusão de medidas de disciplinamento de uso do solo assume papel primordial (ROSS e PRETTE,1998).

Nessa linha de pensamento, o planejamento deve fornecer suporte para o desenvolvimento econômico e social contemplando as questões ambientais, calcado na ordenação do espaço físico considerando as potencialidades e fragilidades dos sistemas ambientais naturais.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA,2012) existem alguns modelos conceituais que abordam o ordenamento territorial, sendo comum a eles a integração das ações e políticas públicas, com igualdade de oportunidades de desenvolvimento para os diferentes grupos sociais e diferentes regiões.

Nestes modelos de planejamento o meio ambiente é visto na perspectiva sistêmica com análise de causa e efeito nas relações de interdependência entre o meio físico, biótico e socioeconômico, com busca do equilíbrio e satisfação das necessidades do presente sem o seu comprometimento futuro.

O *Zoneamento Ambiental* é voltado majoritariamente para os elementos e aspectos naturais do meio físico e biótico, enfatizando o aspecto preservacionista. De acordo com o MMA (2012), o *Zoneamento Ambiental* foi elencado como um dos instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente (Lei 6.938/1981), e o termo evoluiu para Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), com a prerrogativa de englobar a questão social e econômica à ambiental.

Como exemplo, tem-se o Zoneamento Ecológico Econômico da Bacia Hidrográfica do São Francisco (MMA, 2009) com a função de fornecer uma visão macro-regional aos órgãos de planejamento federais e estaduais. Outro exemplo é o Zoneamento Ecológico Econômico da Amazônia Legal (MMA, 1996) que se baseia no modelo de vulnerabilidade do solo à erosão desenvolvida por Crepani para auxiliar a demarcação de porções territoriais com características do meio físico e de ocupação semelhantes.

O *Zoneamento Agroecológico (ZAE)* desempenha papel de orientação de adequação do desenvolvimento de determinadas culturas, as limitações de uso

do solo nas atividades agropecuárias, as causas e consequências da poluição ambiental e da erosão do solo, com suas respectivas formas de remediação. Neste contexto agrícola, o Zoneamento Pedo Climático elaborado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2000) visa à definição de áreas para a exploração de determinadas culturas de acordo com as especificidades das relações com solo, clima, nutrição, água etc, como por exemplo, o “Zoneamento Pedoclimático da Cultura do Cajueiro”, que objetiva o conhecimento de novas áreas favoráveis ao desenvolvimento da cultura do caju (AGUIAR, *et.al.*,2000).

Outros tipos de zoneamentos são o *Zoneamento Costeiro*, no qual se destaca o ZEE para o Litoral Norte do Estado de São Paulo (SMA, 2005); o *Zoneamento Urbano*, que age na esfera municipal de acordo com os Planos Diretores; o *Zoneamento Industrial*, que atua nas áreas destinadas à instalação de indústrias, fazendo parte do zoneamento urbano, visando a compatibilização das atividades industriais com a proteção ambiental.

Nota-se uma grande diversidade na utilização das nomenclaturas referentes à zoneamentos, mas todas são unânimes quanto à utilização direcionada ao planejamento e ordenamento do território, com a prerrogativa de harmonizar as relações econômicas, sociais e ambientais.

Neste contexto do planejamento como política do desenvolvimento harmônico aliado à preservação, conservação e recuperação ambiental, as metodologias desenvolvidas por ROSS (1994) e CREPANI (2001) são de grande contribuição e veem sendo utilizadas em trabalhos acadêmicos e governamentais, em escala locais e regionais.

Conforme já estudado por SPORL (2001), cada metodologia apresenta uma forma de tratamento individual nas formas de análise e cálculo contidas na ponderação de cada tema. Entretanto, acredita-se que a variação de escala assuma papel importante no produto de cada metodologia.

As escalas utilizadas nesta pesquisa (1:250.000 e 1:50.000) são utilizadas em estudos regionais, e são também compatíveis na matriz Índices de Dissecção do Relevo de ROSS (1992).

Deste modo, esta pesquisa acredita na colaboração que o estudo comparativo do produto destas metodologias pode oferecer, principalmente no que tange o efeito da variação de escala, de modo a auxiliar procedimentos de manejo e tomadas de decisão.

4. ÁREA DE ESTUDO

A área estudo corresponde à bacia hidrográfica do rio Jundiá, que envolve os municípios de Atibaia, Cabreúva, Cajamar, Campo Limpo Paulista, Francisco Morato, Franco da Rocha, Indaiatuba, Itatiba, Itupeva, Itú, Jarinu, Jundiá, Louveira, Mairiporã, Salto e Várzea Paulista, no Estado de São Paulo.

A Figura 01 abaixo apresenta a localização correspondente à bacia hidrográfica do rio Jundiá.

FIGURA 1: Localização da área e estudo correspondente à bacia hidrográfica do rio Jundiá

A partir dela, foi realizado um recorte correspondente a bacia hidrográfica do ribeirão do Caxambú, afluente do rio Jundiá, que envolve os municípios de Jundiá, Cabreúva e Itupeva no Estado de São Paulo.

A Figura 02 abaixo apresenta a localização correspondente à bacia hidrográfica do ribeirão do Caxambú.

FIGURA 2: Localização do recorte correspondente à bacia hidrográfica do ribeirão do Caxambú, afluente do rio Jundiá.

As bacias hidrográficas correspondentes à área de estudo foram delimitadas a partir das curvas de nível, hidrografia e pontos cotados.

Os critérios de escolha desta bacia hidrográfica foram as características geográficas relativas à dissecação do relevo; a disponibilidade de dados; e a proximidade da cidade de São Paulo para ida a campo.

Botelho (1999) ressalta que diversos pesquisadores chamam a atenção para a bacia hidrográfica como uma unidade natural da superfície terrestre, na qual é

possível reconhecer e estudar as inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam na sua formação.

Uma bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre que drena a água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, em um determinado ponto de um canal fluvial. Há uma interdependência dos componentes que formam o sistema da bacia de drenagem, de modo que a organização interna do sistema da bacia de drenagem influencia as relações de entrada e saída, de modo que uma alteração na bacia, como por exemplo, o estrangulamento da saída de água no sistema, conduz a uma alteração de suas formas (COELHO NETTO, A.L, 2005).

Seguindo este raciocínio, CHRISTOFOLETTI (1999) considera a bacia hidrográfica como uma unidade funcional integrativa, pois no estudo da dinâmica dos processos é analisada uma série de variáveis que precisam ser integradas para responder aos comportamentos e alterações que estão sendo observados dentro da bacia hidrográfica.

De acordo com ROSS e PRETTE (*op. cit.*), a bacia hidrográfica pode ser analisada como uma unidade de planejamento destinada a servir de instrumento de gestão ambiental, pois embora se constitua em um sistema natural cujo referencial é a água, não se torna automaticamente um único sistema ambiental, seja do ponto de vista natural, quando se leva em conta os demais componentes da natureza, como relevo, solos, subsolos, flora e fauna, seja do ponto de vista social, quando se consideram as atividades econômicas e político-administrativas.

A partir das afirmações acima, justifica-se o critério de escolha da área de estudo ser correspondente a uma bacia hidrográfica, pois a mesma será interpretada a luz da concepção da análise integrada, a qual vem sendo utilizada como base para o direcionamento e tomada de decisões dentro de um planejamento. Ao mesmo tempo em que possui diversidade quanto à dissecação do relevo e densidade de drenagem, critérios estes adotados como de grande importância ponderação dos temas, na medida em que ambas as metodologias de estudo utilizam essas variáveis.

5. EMBASAMENTO TEÓRICO

Visando a integração do meio físico, biótico e antrópico, este trabalho irá fundamentar-se na teoria da ecodinâmica desenvolvida por TRICART (1977).

Nesta análise, utiliza-se a ideia de Sistema como instrumento lógico para estudar o meio ambiente, sendo correspondente à um conjunto de fenômenos que se processam mediante fluxos de matéria e energia, de modo que esses fluxos originam relações de dependência mútua entre os fenômenos.

Tendo o componente morfogenético como uns dos principais atuantes na dinâmica da superfície terrestre - uma vez que produz instabilidade - criaram-se categorias dos tipos de meio ambiente fundada no grau de estabilidade/instabilidade.

Deste modo, os processos de pedogênese (formadores de solo) e morfogênese (modificadores das formas de relevo) são os principais atores na classificação do meio ambiente em categorias morfodinâmicas, sendo elas: Meios Estáveis, Meios Intergrades e Meios Fortemente Instáveis.

O Quadro 1 abaixo sintetiza as características de cada categoria morfodinâmica elaborada por Tricart.

QUADRO 1 : Características das categorias morfodinâmicas.

MEIOS ESTÁVEIS	MEIOS INTERGRADES	MEIOS FORTEMENTE INSTÁVEIS
O processo de pedogênese prevalece sobre o de morfogênese	Balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas	O processo de morfogênese prevalece sobre o de pedogênese
Ausência de manifestações vulcânicas	Passagem gradual entre os meios estáveis os meios instáveis, indicando a recuperação ou degeneração da paisagem.	Condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas
Dissecação moderada		Inexistência de cobertura vegetal densa
Cobertura vegetal densa		Planícies e fundos de vales sujeitos a inundações
		Presença de solos rasos
		Relevo com vigorosa dissecação
		Geodinâmica interna intensa

Fonte: Adaptado de TRICART (1977)

Para TRICART (*op.cit.*), a paisagem deve ser analisada por meio de seu comportamento dinâmico, com a identificação de unidades da paisagem (unidades ecodinâmicas). Dentro de cada unidade existem relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e fluxo de energia e matéria do meio ambiente.

Seguindo esta linha de raciocínio, parte-se da premissa de que o conhecimento e entendimento das relações existentes entre as variáveis dinâmicas, ou seja, a articulação de várias esferas do conhecimento, como o geológico, pedológico,

geomorfológico e climático, constrói a noção de um conjunto interdisciplinar e dinâmico.

E, sendo o homem o sujeito ativo na formação e alteração da paisagem, não é possível dissociá-lo deste conjunto, uma vez que sua atuação sem o prévio conhecimento do equilíbrio dinâmico existente entre os diversos componentes que compõe o meio ambiente pode levar a situações desastrosas do ponto de vista ecológico e econômico. Deste modo, suas ações e comportamentos são também contemplados no entendimento da paisagem.

Para compreender a totalidade da paisagem é necessário compreendê-la como um conjunto articulado e dinâmico entre seus componentes. Como afirma Monteiro:

“Paisagem é uma entidade espacial delimitada segundo um nível de resolução do pesquisador, a partir do objetivo central de análise, de qualquer modo, sempre resultante da integração dinâmica, portanto instável, dos elementos de suporte e cobertura (físico, biológico e antrópico) expressa em partes delimitáveis infinitivamente, mas individualizadas através das relações entre elas que os organizam em um todo complexo (sistema), verdadeiro conjunto solidário e único, em perpétua evolução.” (MONTEIRO, 2000, p39)

Acredita-se que a Teoria da Ecodinâmica fornece suporte para avançar além das relações de causa e efeito, de modo a buscar a compreensão do funcionamento das relações dinâmicas existentes no meio ambiente. Acrescenta-se ainda, que o maior conhecimento destas interações auxilia na execução de atividades relacionadas ao planejamento, uma vez que facilita a realização de previsões e tendências com maior probabilidade de acerto, pois *“uma vez estabelecida a estrutura de sistema, o conhecimento dos fluxos facilita as medições e põe em evidência o significado das medições feitas e sua interpretação”* (TRICART, op.cit.).

6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O princípio metodológico que norteia este trabalho será fundamentado na análise integrada da paisagem, sendo entendida como um conjunto de sistemas (naturais e antrópicos) dinâmicos, abertos e passíveis de delimitação territorial.

O método comparativo será utilizado na perspectiva de um agrupamento coerente e ordenado dos elementos relacionados à fragilidade ambiental e vulnerabilidade de perda do solo contidos nas metodologias desenvolvidas por ROSS (1994) e CREPANI (2001), a fim de possibilitar, por um lado, a organização dos resultados obtidos por meio da pesquisa e, por outro, a verificação das formas de combinação dos dados.

Nesta análise, cabe ao geógrafo a visão de conjunto acerca dos elementos do meio físico conjuntamente com as atividades humanas, sobre o que já afirmava Monbeig em 1945:

“Pois, como o geógrafo sempre investiga as relações entre os trabalhos do homem e seu suporte físico, o método comparativo conserva seu valor de uma ponta a outra” (MONBEIG, 1945, in DANTAS 2009).

CAPEL (2008) relembra que ao menos desde 1794, Humboldt já possuía uma visão histórica e dinâmica da natureza, e considerava como insatisfatório o sistema científico do século XVIII, que considerava a Natureza como imóvel, e aceitava a possibilidade de realizar uma classificação estática de seus elementos.

O mesmo autor relembra que o uso do método comparativo foi um dos fatores que permitiu o passo de uma ciência do estado pré-científico ao estado nomotético, promovendo um distanciamento em relação ao ponto de vista próprio, na medida em que permite ordenar e comparar as relações e descrições.

Nesta perspectiva, Humboldt fez grande uso do método comparativo ao comparar sistematicamente as paisagens do setor que estudava com outras partes da Terra, o que lhe permitiu observar que existem relações gerais e causas genéticas comuns com áreas similares em outras partes da Terra.

CAPEL (2008) também relembra a afirmação de Ritter que a ciência geográfica não poderia somente se resumir a descrições, mas teria que realizar comparações e generalizações que permitissem gerar conclusões.

Deste modo, a fim de compreender as relações mútuas da natureza com o homem e a terra como palco da atividade humana, Ritter utiliza o recurso da classificação, para reagrupar as coisas semelhantes e análogos. E afirma:

“Meu objetivo foi indicar as leis gerais à diversidade da natureza, mostrar sua conexão com qualquer fato tomado isoladamente, e indicar em um campo puramente histórico a perfeita unidade e harmonia que existe na aparente diversidade e capricho que prevalece no planeta, que aparece mais evidente nas relações mútuas da natureza com o homem”. (DICKINSON, 1969, p. 37, in CAPEL, 2008).

Nesta linha de raciocínio, a classificação é entendida com as relações que permitem comparar e construir um sistema espacial de relações, e não a utilização da estatística com dados absolutos.

É nesta perspectiva de relações mútuas e sistemas de classificação e agrupamento que esta pesquisa pretende se desenvolver.

6.1. A Vulnerabilidade do Solo na Metodologia de Crepani

A metodologia para elaboração de um mapa de vulnerabilidade do solo à erosão desenvolvida no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por CREPANI, nasceu com o objetivo de fornecer suporte à elaboração do Zoneamento Ecológico e Econômico para a Amazônia, promovido pelo Ministério de Meio Ambiente (MMA).

Nesta proposta a análise e a intersecção dos temas citados acima corresponderão à base da identificação e delimitação de conjuntos estruturais e paisagísticos homogêneos, que possui a finalidade de auxiliar a demarcação de porções territoriais com características do meio físico e de ocupação semelhantes, denominadas Unidades Territoriais Básicas (UTBs).

Em outras palavras, as Unidades Territoriais Básicas (UTBs) são compostas pelas “Unidades da Paisagem Natural” e os “Polígonos de Intervenção Antrópica” (CREPANI, 2001).

A delimitação destas unidades é feita a partir do processamento e interpretação de cores e texturas da imagem do satélite TM-LANDSAT que, posteriormente, recebe o conteúdo oriundo das informações temáticas.

A partir da avaliação individual de cada tema para determinar o grau de vulnerabilidade natural à perda do solo, será adotado um modelo que avalie o estágio da evolução morfodinâmica das Unidades Territoriais Básicas (UTBs), atribuindo valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas, de forma a se construir uma “escala de vulnerabilidade” para situações que ocorram naturalmente.

O Quadro 2 abaixo, estabelece 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores ao redor de 1,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0).

QUADRO 2: Classes de vulnerabilidade à perda de solo baseado nos processos de pedogênese e morfogênese

UNIDADE TERRITORIAL BÁSICA		MÉDIA		GRAU DE VULNERABILIDADE
U1		3,0		Vulnerável
U2		2,9		
U3	V	2,8	E	
U4	U	2,7	S	
U5	L	2,6	T	Moderadamente Vulnerável
U6	N	2,5	A	
U7	E	2,4	B	
U8	R	2,3	I	
U9	A	2,2	L	Medianamente Estável/ Vulnerável
U10	B	2,1	I	
U11	I	2,0	D	
U12	L	1,9	A	
U13	I	1,8	D	Moderadamente Estável
U14	D	1,7	E	
U15	A	1,6		
U16	D	1,5		
U17	E	1,4		Estável
U18		1,3		
U19		1,2		
U20		1,1		
U21		1,0		

Fonte: Modificado de CREPANI, 2001

Este modelo será aplicado individualmente aos temas (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Clima) que compõem cada UTB, e receberá posteriormente um valor final, resultante da média aritmética dos valores individuais obtidos da equação abaixo. A aplicação desta equação busca representar a posição de cada unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo.

$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$	onde:
	<p>V = Vulnerabilidade</p> <p>G = vulnerabilidade para o tema Geologia</p> <p>R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia</p> <p>S = vulnerabilidade para o tema Solos</p> <p>Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação</p> <p>C = vulnerabilidade para o tema Clima</p>

De acordo com CREPANI (2001), o conhecimento dos mecanismos que atuam nas Unidades da Paisagem Natural permite orientar as atividades a serem desenvolvidas dentro do Polígono de Intervenção Antrópica, de maneira a evitar agressões irreversíveis e obter maior produtividade, além de dirigir ações corretivas dentro daqueles polígonos onde o uso inadequado provoca consequências desastrosas.

Além do bioma amazônico, existem estudos de aplicação desta metodologia no semi árido brasileiro, no qual "a análise morfodinâmica realizada com o intuito de estabelecer pesos para as classes dos temas abordados se mostrou bastante eficaz, e a aplicação da metodologia de vulnerabilidade à perda do solo fornece uma visão geral e sistêmica de como o ambiente semi árido se comporta" (CREPANI, et al., 2005). Pesquisas como essa permitem avaliar que este modelo é aplicável em ecossistemas bastante diferenciados, como a Amazônia e o semi árido.

6.2. A Fragilidade Ambiental na Metodologia de Ross

O modelo de fragilidade ambiental desenvolvido por ROSS (1994) se baseia na análise integrada dos temas geomorfologia (índice de dissecação do relevo), solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima (regime pluviométrico).

De acordo com ROSS (1994), o estudo da fragilidade ambiental em ambientes antropizados varia de acordo com as características genéticas do meio físico paralelamente à intensidade da intervenção humana, tornando possível a classificação e análise dos graus de fragilidade da área de estudo, paralelamente às possibilidades e potencialidades de uso.

A metodologia propõe que cada tema seja hierarquizado em cinco classes de acordo com as respectivas fragilidades do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais, de modo que, as variáveis mais estáveis apresentarão valores próximos a 1,0, as intermediárias próximos a 3,0 e as instáveis próximas a 5,0.

Deste modo, a classificação da fragilidade será realizada a partir da combinação dessas quatro variáveis citadas acima, sendo primeiramente o relevo, seguido do solo, cobertura vegetal/uso da terra e, por fim, o clima. Nesta metodologia, a variável Índice de Dissecação do Relevo (1º dígito) é a que irá determinar o índice de fragilidade de cada área, sendo que as demais variáveis irão definir o grau de hierarquização das mesmas.

A matriz Índices de Dissecação do Relevo (ROSS, 1992) foi desenvolvida baseado no Projeto RADAM Brasil, e se fundamenta na relação de densidade de drenagem/dimensão interfluvial média para a dissecação no plano horizontal, e nos graus de entalhamento dos canais de drenagem para a dissecação no plano vertical. Essa matriz é indicada para trabalhos em escalas médias a pequena, como 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000.

Para trabalhos em escalas de maior detalhe (maiores que 1:50.000) é recomendado utilizar o modelo baseado nas formas de vertente e nas classes de declividade. Entretanto, este modelo não será utilizado nesta pesquisa, dada à carência de bases cartográficas que possibilitem o tratamento de dados em escala compatível.

Entretanto, acredita-se que esta limitação não afetará o objetivo deste trabalho, visto que as escalas de análise (1:50.000 e 1:250.000) são compatíveis com a análise regional.

O Quadro 3 apresenta a matriz Índices de Dissecação do Relevo.

QUADRO 3: Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo

	Densidade de drenagem ou dimensão interfluvial média (Classes)	Muito Baixa (1) > 3750m	Baixa (2) 1750 a 3750 m	Média (3) 750 a 1750m	Alta (4) 250 a 750m	Muito Alta (5) <250m
		>15 mm	3 a 15mm	3 a 5 mm	1a3 mm	1 mm
Graus de entalhamento dos vales (classes)	Muito Fraco (1) (< de 20m)	11	12	13	14	15
	Fraco (2) (de 20 a 40m)	21	22	23	24	25
	Médio (3) (de 40 a 80m)	31	32	33	34	35
	Forte (4) (80 a 160m)	41	42	43	44	45
	Muito Forte (5) (> 160m)	51	52	53	54	55
Fonte: ROSS (1992)						
Legenda		Muito Fraco	Fraco	Média	Forte	Muito Forte

6.3. Comparação de metodologias

Em uma tentativa de sistematização, a Figura 3 abaixo apresenta a hierarquia de conceitos a serem discutidos.

FIGURA 3: Hierarquia de conceitos

Ambas as propostas metodológicas utilizadas nesta pesquisa, foram desenvolvidas com base nas concepções da Ecodinâmica, definidas nos trabalhos de TRICART (1977), a qual visa realizar análises integradas de dados, resultados de combinações dinâmicas de elementos físicos, biológicos e antrópicos que fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, sempre em evolução (SOTCHAVA, 1978).

O Quadro 4 apresenta a relação conceitual nas metodologias de análise.

QUADRO 4: Relação conceitual nas metodologias de análise

AUTOR	PROPOSTA METODOLÓGICA	CONCEITOS	
TRICART, 1977	Ecodinâmica	Unidade Estáveis	Unidades Instáveis
ROSS, 1994	Fragilidade Ambiental	Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Potencial	Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Emergente
CREPANI, 2001	Vulnerabilidade do solo	UTB Estável	UTB Vulnerável

Org: FAGUNDES, 2011

As Unidades Estáveis (Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Potencial e UTB Estável) são áreas que estão em equilíbrio dinâmico em seu estado natural, as Unidades Instáveis (Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Emergente e UTB Vulnerável) são os ambientes naturais que foram modificados pelo homem com desmatamentos, agriculturas, industrialização e urbanização, também chamados de ambientes antropizados.

Em ambas as metodologias houve um detalhamento dentro de cada unidade, por meio de ponderações, classificando-as em vários graus segundo a estabilidade/ instabilidade que variam de muito forte até muito fraca.

Para compará-las e obter a classificação das unidades, será realizado o levantamento e compilação de dados referentes à área de estudo existentes em folhas topográficas (curvas de nível, pontos cotados e hidrografia), bem como em mapeamentos temáticos (geológico e pedológico), sites oficiais para busca de informações referente ao clima (intensidade e distribuição pluviométrica) e interpretação de imagens de satélite para confecção do uso e ocupação da terra.

Para subsidiar o estudo serão coletados dados de campo, de forma a classificar hierarquicamente cada um dos fatores analisados (uso da terra/cobertura vegetal, relevo, solos e clima).

A elaboração das cartas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural à perda solo, as combinações dos temas, tratamento de imagens e associação de banco de dados, serão executados no software ArcGis 9.3.

Ambas as metodologias expressam a ideia de apresentar a fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas e foram elaboradas com o intuito de fornecer subsídios ao planejamento. Apoiadas na relação morfogênese/ pedogênese, ambas utilizam praticamente as mesmas variáveis para estudar o comportamento do meio ambiente.

O Quadro 5 abaixo apresenta quais as variáveis são utilizadas em cada metodologia.

QUADRO 5: Variáveis utilizadas na metodologia de ROSS e CREPANI.

VARIÁVEL	INPE	ROSS
Geologia	x	
Geomorfologia	x	x
Pedologia	x	x
Vegetação e Uso da Terra	x	x
Clima	x	x

Org: FAGUNDES, 2011

A análise descritiva dos condicionantes naturais da área de estudo será realizada para apontar os fatores que podem influenciar a vulnerabilidade do solo aos processos do meio físico. Essa classificação apresentará como resultado, segundo cada metodologia, as cartas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural à perda do solo.

O Quadro 6 abaixo sintetiza o critério de avaliação de cada tema adotados por Ross e Crepani para determinar o grau de fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural à perda do solo.

QUADRO 6: Critérios de avaliação das variáveis para determinar o grau de fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural à perda do solo

TEMA	CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO	ESCALA DE VALOR
Geologia*	Dureza e porosidade da rocha	Rocha muito coesa- estável Rocha pouco coesa- instável
Geomorfologia	Dissecação do relevo pela drenagem	Maiores interflúvios (menor dissecação)- estável Menores interflúvios (maior dissecação)- instável
	Amplitude altimétrica	Menor amplitude - estável Maior amplitude - instável
	Declividade	Menor declividade - estável Maior declividade- instável
Pedologia	Estrutura, permeabilidade, profundidade, e manejo do solo	Solos desenvolvidos, intemperizados - estável Solos rasos, pouco desenvolvidos - instável
Vegetação	Densidade da cobertura vegetal	Altas densidades- estável Baixas densidades- instável
Clima	Intensidade pluviométrica e distribuição sazonal	Menores índices pluviométricos e maior duração para o período chuvoso - estável Maiores índices de pluviosidade e menor duração do período chuvoso - instável

Org: FAGUNDES, 2011

*Utilizada somente por Crepani.

O tema geologia não é estudado por Ross, já que a metodologia contempla-o no conjunto da paisagem, ou seja, na combinação entre solo e relevo.

Ambos os modelos se baseiam nas mesmas variáveis, mas apresentam diferença nas análises individuais dos temas, mais especificamente nas ponderações e forma de cálculo. Enquanto CREPANI trabalha com valores médios para o produto final, ROSS trabalha com o agrupamento dos índices das variáveis e utiliza o relevo como geoindicador (SPORL, 2001).

O Quadro 7 abaixo apresenta as principais diferenças no que se refere à análise e cálculo das metodologias em estudo.

QUADRO 7: Principais diferenças referentes à análise e cálculo das metodologias em estudo

	CREPANI	ROSS
ANÁLISE	A utilização da média aritmética entre as variáveis pressupõe que todas elas possuem a mesma importância (peso) para estabelecer o grau de fragilidade das UTBs.	A variável da dissecação do relevo é mais expressiva para a determinação do grau de fragilidade, e as demais variáveis a hierarquizam.
CÁLCULO	Apresenta como resultado uma fragilidade decorrente da média aritmética da ponderação dos temas, fazendo com que as fragilidades extremas (muito fraca e muito forte) sejam atenuadas, ou seja, uma área com alta vulnerabilidade para um dos temas poderá ser atenuada pela baixa vulnerabilidade de outro tema.	Apresenta como resultado uma fragilidade baseada na dissecação do relevo, mas que pode não refletir as características da área, pois nem sempre o relevo mais dissecado é o mais frágil, pois a fragilidade também depende de outras variáveis (tipo de rocha, clima, etc.).

Fonte: Adaptado de SPORL, 2001

A etapa final da pesquisa corresponderá à sistematização, discussão e comparação dos resultados obtidos com relação à variação de escala na fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural do solo.

Em uma tentativa de sistematização, a Figura 4 abaixo apresenta o fluxograma que sintetiza as etapas metodológicas propostas nesta pesquisa.

FIGURA 4: Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.

6.4. Bases conceituais da suscetibilidade à erosão dos solos

A suscetibilidade à erosão dos solos é contemplada de forma diferente em ambas as metodologias em estudo. Na fragilidade ambiental de Ross, a perda de solo ocorre na relação entre o equilíbrio dinâmico no estado natural de uma área com os ambientes que foram modificados pelo homem e, na vulnerabilidade natural à perda do solo de Crepani, a erosão é compreendida na relação entre os processos relacionados à pedogênese e à morfogênese.

A suscetibilidade à erosão do solo está associada aos fatores que podem ser de ordem natural (como por exemplo, erosividade da chuva, propriedades do solo, cobertura vegetal e características das encostas), ou antrópica (como por exemplo, atividades relacionadas a agropecuária e urbanização). Ambos os fatores estão intrinsecamente relacionados e não podem ser estudados separadamente.

A Figura 05 apresenta uma síntese dos fatores naturais associados à vulnerabilidade do solo.

FIGURA 5: Fluxograma dos fatores naturais associados à vulnerabilidade do solo (Org. FAGUNDES, 2011)

De acordo com GUERRA (2005), a resistência do solo depende de alguns parâmetros como textura, porosidade, matéria orgânica e estabilidade dos agregados. A textura representa o tamanho das partículas que compõe o solo e a estrutura representa o modo de arranjo dessas partículas. Esses dois fatores são responsáveis pela facilidade, ou não, de remoção de algumas frações granulométricas. Por exemplo, a areia e silte são facilmente removidos, mas a argila apesar de dificultar a infiltração da água, não é removida facilmente.

A espessura é outro fator importante na capacidade de infiltração e absorção da água da chuva, uma vez que em solos rasos a absorção e saturação é mais rápida, favorecendo o escoamento superficial e, conseqüentemente, há maior perda de solo.

GUERRA (*op.cit.*) aponta alguns estudos que parecem demonstrar que a matéria orgânica é um bom agente agregador do solo, aumentando a estabilidade dos agregados que, como conseqüência, reduz a capacidade de erosão, pois possibilita a existência de um elevado índice de porosidade, aumentando as taxas de infiltração e reduzindo as de escoamento superficial. Com relação à porosidade, cabe destacar que as camadas menos permeáveis dificultam a percolação d'água e ao mesmo tempo em que favorecem a saturação do solo, convergem no aumento do fluxo de escoamento do excedente.

BISSONAI (1996) discute e levanta diversos estudos que também apontam o óxido de ferro e de alumínio no horizonte B como agente agregador importante no comportamento físico do solo.

O impacto das gotas da água da chuva na superfície do solo provoca a desagregação das partículas constituintes deste, as quais são removidas, transportadas pelo escoamento superficial e depositados em porções mais baixas do relevo, provocando também, o assoreamento de drenagens de modo a comprometer a qualidade dos recursos hídricos.

A água atua como agente modelador do relevo, controlando tanto a formação como o comportamento mecânico dos mantos de solos, rochas e relevo, sendo a precipitação um fator importante no ciclo hidrológico (COELHO NETTO, 2005).

A ação erosiva da chuva depende de quatro parâmetros, total pluviométrico (volume), intensidade pluviométrica (volume/duração), regime sazonal ou diário (distribuição temporal do evento) e a energia cinética. De acordo com STOCKING (1977, in GUERRA, 2005) a intensidade pluviométrica é importante nas taxas de infiltração, pois a partir do encharcamento do solo, a infiltração diminui, e o excedente se transforma em escoamento superficial. Isso depende das propriedades do solo, características das encostas, cobertura vegetal e o tipo de chuva.

A energia cinética está relacionada com a força (intensidade) da chuva em remover as partículas do solo devido a variação da cobertura vegetal. A falta de cobertura vegetal favorece que o excedente da capacidade de infiltração do solo se transforme em escoamento superficial (efeito runoff).

A distribuição sazonal das chuvas aliada a intensidade pluviométrica é importante na determinação das perdas de solo, na medida em que se verifica que uma elevada pluviosidade anual, mas bem distribuída ao longo de todo

período, tem poder erosivo muito menor do que uma precipitação anual mais reduzida que ocorre torrencialmente em um curto período (CREPANI, *et al*, 2001).

A cobertura vegetal possui diversos papéis no processo de controle de perda do solo, como a densidade de sua cobertura, a capacidade de reduzir o impacto da chuva (interceptação das gotas), aumento da infiltração da água no solo e a formação de matéria orgânica no solo que afeta a estabilidade e teor dos agregados (como citado acima).

Uma vez retirada, a ação direta das gotas d'água atingem o solo com mais força, de modo a remover os nutrientes necessários para o crescimento vegetal, e aumentar a força de escoamento superficial que, por sua vez, contribuem na deflagração dos processos erosivos.

A cobertura vegetal tem como uma de suas múltiplas funções a interceptação de parte da precipitação, pelo armazenamento da água em suas copas e arbustos e escoamento pelos troncos. Outra forma de redução do impacto da chuva são os detritos orgânicos que caem da vegetação no solo (serrapilheira) composto por galhos, folhas e flores. As gramíneas desempenham função semelhante no que se refere a redução do impactos das água no solo. (COELHO NETTO, *op.cit.*)

As encostas possuem três parâmetros em relação à perda do solo: a declividade, a forma e o comprimento. A declividade e comprimento de rampa são fatores decisivos na velocidade do escoamento superficial das águas. Os terrenos com maior declividade e comprimento de rampa apresentam maior velocidade de escoamento e, portanto, maior capacidade erosiva. Entretanto, atenta-se que um terreno com baixa declividade e grande comprimento de rampa, pode também possuir alta capacidade erosiva, desde que tenha grande vazão do escoamento das águas superficiais.

Dependendo da forma como se dá o escoamento d'água em uma vertente, pode-se desenvolver dois tipos de erosão: laminar, causada pelo escoamento difuso das águas, como remoção progressiva e uniforme do solo; ou linear, causada pela concentração das linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões no terreno, na forma de sulcos, que podem evoluir, por aprofundamento para ravinas e voçorocas.

As formas geométricas do relevo (retilínea, côncava e convexa) resultam da ação de processos erosivos e/ou deposicionais ao longo do tempo, e igualmente condicionam a espacialização dos processos erosivos-deposicionais subseqüentes (COELHO NETTO, *op.cit.*).

Os fundos de vale coletores podem, então, transferir estes materiais transportados das encostas para a jusante. As áreas adjacentes aos canais que drenam os fundos de vale representam as principais fontes de fluxo de chuva, porque elas recebem os fluxos d'água provenientes das partes mais elevadas das encostas (HEWLETT, 1961, WHIPKEY, 1964 in COELHO NETTO, *op.cit.*).

Esta formulação é igualmente válida para os fundos de vale não canalizados que se desenvolvem próximos às cabeceiras de drenagem, por serem zonas côncavas, ou seja, de convergência dos fluxos de água superficiais.

Resumidamente, o poder de infiltração d'água no solo depende das características físicas da chuva (intensidade e sazonalidade do regime pluviométrico), das condições de cobertura do solo (densidade vegetal), condições especiais do solo (porosidade, textura, profundidade etc.) e características das encostas, de modo que o escoamento em superfície é produzido com o excedente de precipitação em relação à capacidade de infiltração, caracterizando assim o grau de vulnerabilidade a perda do solo.

Já a suscetibilidade do solo à erosão associada aos fatores antrópicos, como por exemplo, atividades relacionadas à agropecuária e urbanização, estão sintetizadas na Figura 06.

FIGURA 6: Fluxograma dos fatores naturais associados à vulnerabilidade do solo (Org. FAGUNDES, 2011).

Nem todos os fatores antrópicos são desencadeantes de processos de perda de solo, entretanto algumas atividades executadas sem um manejo adequado estão relacionadas à essa perda. Por exemplo, o desmatamento e formas de uso e ocupação da terra, tais como agricultura, pastagem e ocupação urbanas.

As atividades agrícolas e pastoris iniciam-se com a substituição da cobertura vegetal e modificação do ritmo das relações entre plantas e os solos. A fase pioneira de ocupação avança mais rapidamente pelos setores topográficos mais favoráveis e, na sequência, busca-se da implantação de atividades agropastoris contínuas, racionais e sistematizadas, tornando-se importante o ajustamento e a adequação às nuances das variáveis topográficas (CHRISTOFOLETTI, 2005).

Desprovido de cobertura vegetal, o solo fica exposto a uma série de fatores que tendem a depurá-lo e, em alguns casos, as atividades humanas aceleram o processo de perda do solo, como por exemplo, a derrubada de mata, as ocupações em locais de alta declividade, a prática intensiva da monocultura, o pisoteio do solo pelo gado.

A perda do solo em áreas rurais se deve, principalmente, às diferentes formas de uso da terra desprovidas de manejo adequado, nas quais o processo de pastagem e alguns tipos de cultivo provocam alterações do escoamento superficial, convergindo na concentração do fluxo das águas pluviais.

Alguns autores (CHRISTOFOLETTI, 2005; IWASA, 1998; ZUQUETTE e GANDOLFI 1990, entre outros) afirmam que o mapeamento de áreas de riscos morfogenéticos, bem como a elaboração de cartas de declividade das vertentes e sua conexão com a rede de canais fluviais, ambas responsáveis pela indicação da rugosidade topográfica, são instrumentos valiosos para avaliar as restrições pertinentes às práticas agrícolas e pastoris e servir de guia para orientar escolha entre as técnicas para a conservação dos solos.

A falta de práticas adequadas de conservação do solo no manejo das atividades agrícolas e pastoris acarreta em problemas relacionados à perda do solo. O trecho abaixo descreve de modo bastante sucinto e objetivo a dinâmica das vertentes e produção de sedimentos no contexto do uso do solo rural:

"Na perspectiva econômica, as atividades realizadas nos interflúvios e altos das vertentes ou nas partes montantes dos vales promovem certo desgaste e erosão dos solos. O transporte desses sedimentos pode afetar as atividades situadas no sopé das vertentes ou nas partes jusantes do vale, devido aos processos de sedimentação. O processo de escoamento superficial nas vertentes promove a erosão do solo com carreamento de sedimentos para os cursos d'água, assoreando-os. Este processo está relacionado com a intensidade pluviométrica e a morfologia das vertentes, assim, em função da densidade hidrográfica, da rugosidade topográfica, surgem respostas ao comportamento hidrológico dos canais, simultaneamente com a magnitude e frequência dos fluxos de energia." (CHRISTOFOLETTI, *op. cit.*).

Os impactos no meio ambiente causados pela construção não planejada de áreas urbanizadas se dão pela ação de influência e relações com o lançamento de matérias e fluxos de energia. A construção de áreas impermeabilizadas como consequência da ampliação das áreas urbanizadas, repercute na capacidade de infiltração das águas no solo, favorecendo o escoamento superficial e a concentração das enxurradas.

A urbanização afeta o funcionamento do ciclo hidrológico, pois altera o rearranjo e a trajetória das águas. IWASA (1998) relembra que a erosão é, basicamente, resultado das alterações do escoamento superficial, que o processo de urbanização causa pela concentração dos fluxos das águas pluviais, de modo que, por exemplo, o aumento da concentração e/ou escoamento d'água em um determinado curso d'água, provoca instabilidade a jusante, nos fundos de vale.

Em uma situação de estabilidade os fluxos de energia e matéria se processam por meio de relações em equilíbrio dinâmico, ou seja, a evolução natural dos componentes do ambiente se dá em harmonia entre si. Entretanto, algumas ações antrópicas na natureza afetam a funcionalidade do sistema e induz processos degenerativos.

Os estudos voltados ao planejamento ambiental surgem com o intuito de delinear esses limites de aceitabilidade de usos da terra associados aos problemas degenerativos decorrentes de seu mau uso e diminuição das potencialidades ambientais.

Tais estudos consistem no processo de predizer e avaliar os impactos de uma atividade humana sobre as condições do meio ambiente e delinear os procedimentos a serem utilizados preventivamente, para mitigar ou evitar tais efeitos, fornecendo base para a tomada de decisões.

O objetivo é prevenir a dilapidação ou eliminação das potencialidades do meio físico, fornecendo informações adequadas sobre as consequências que poderiam se desenvolver, com a implementação das ações propostas. (CHRISTOFOLETTI, *op. cit.*)

Segundo LEPSCH (2002) práticas conservacionistas relativas ao uso racional da terra são de grande importância para a adequação da sua capacidade (grau de risco de degradação do solo), de modo a considerar a aptidão de certos cultivos bem como a proteção contra a degradação. Por exemplo, áreas de declive acentuado possuem capacidade de uso mais reduzido para pastagem e reflorestamento, sendo desaconselhável o uso com culturas anuais, que necessitam de revolvimento anual com o arado, já os solos mais profundos e permeáveis com declividades suavizadas apresentam baixas restrições já que possuem baixa vulnerabilidade à erosão.

A perda do solo tem como consequência a redução de sua fertilidade e até o impedimento de seu uso, o assoreamento de cursos d'água, provocando inundações e até perda de mananciais. Os custos com a recuperação de ambientes degradados são, via de regra, elevados, entretanto os custos com práticas conservacionistas e planejamento são, geralmente, mais econômicos e eficientes, tanto da perspectiva econômica, como ambiental.

Deste modo, pode-se considerar que algumas intervenções humanas, verificadas pela alteração no uso da terra, é o fator preponderante no agravamento na vulnerabilidade à perda do solo, pois o expõe a alterações muitas vezes severas e, caso não haja uma intervenção rápida e eficiente, os custos das obras de recuperação são elevados e, às vezes, até insuficientes.

Sendo assim, os esforços voltados para a correção do problema, sem prognosticar as consequências passíveis de ocorrer em longo prazo, não possuem a devida eficiência quando comparados os trabalhos de ordem preventiva contidos em um planejamento ambiental. Ou seja, o planejamento deve considerar as potencialidades dos recursos naturais, mas, sobretudo, as fragilidades diante das diferentes intervenções antrópicas na natureza.

6.5. *Sistemas de Classificações com Uso do SIG*

Devido às rápidas transformações que ocorrem na paisagem, tem sido crescente a utilização de técnicas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) na elaboração de mapas nos quais os mesmos são armazenados e manipulados em meio digital, tornando-os passíveis de atualização rápida e eficiente.

A principal finalidade da utilização de ferramentas de SIG é facilitar a comunicação, combinação de informações, auxiliar o manuseio e interpretação dos mapas temáticos, bem como a saída de dados. Ou seja, pode ser interpretado como uma tecnologia de apoio à gestão do território.

ROSS (1995) ressalta que a abordagem geográfica na pesquisa ambiental é necessariamente representada por meio de mapas, gráficos e tabelas produzidas a partir da utilização e interpretação de dados numéricos (estatístico).

Para tanto, o mesmo autor relembra que um dos procedimentos existentes na literatura, denominado "Land Systems", tem como característica a geração de produtos temáticos analíticos e sintéticos, no qual o referencial adotado é alicerçado nos padrões de fisionomia do terreno.

Seguindo esta linha de raciocínio, a paisagem é compartimentada em áreas homólogas, o que permite o agrupamento e a síntese das informações referentes ao meio físico - compreendido pelo relevo, vegetação, clima, solos e rochas - como também relativas às intervenções antrópicas - entendido como uso e ocupação da terra - dentro dessas áreas.

VEDOVELLO (1993) sintetiza essa ideia com a definição de que a classificação consiste na delimitação de áreas do terreno que possuam características comportamentais semelhantes frente à intervenção humana.

SIMIELLI (1978) realizou um trabalho a respeito do mapeamento de capacidade de uso do solo em escala inicial de 1:50.000, com análise e correlação de cartas hipsométricas, declividade, isotermas anuais, solos, geologia, formas e processo de erosão e uso do solo. Neste trabalho, a autora já associava os tipos de solo à geologia e curva de nível.

Os sistemas de agrupamento e classificação de terras são discutidos como procedimentos importantes na síntese da paisagem. Entretanto, caso exista carência na integração funcional dos componentes ambientais da paisagem, estes sistemas podem possuir aplicação limitada no que se refere à compreensão da capacidade do meio físico de prever e comportar as consequências das intervenções ambientais.

A partir do exposto, destaca-se a importância da abordagem integrada das relações existentes nas classificações e agrupamentos, para assim, por um lado, melhor compreender a funcionalidade e capacidade de suporte do meio físico e, por outro, fornecer uma melhor previsão e avaliação dos impactos decorrentes de seu uso (MOSS, 1983).

Em outras palavras, trata-se de um sistema de classificação e síntese da paisagem voltado para a avaliação das potencialidades e fragilidades dos sistemas naturais, no qual a segmentação é feita somente para fins classificatórios, nunca deixando de carregar consigo as informações e

características específicas de cada tema no funcionamento do todo. É o que afirma GOODCHILD (1992), quando diz que a representação da realidade na forma de modelos requer procedimentos de abstração, generalização e aproximações.

ROSS (1994) e CREPANI (2001) se baseiam nesta concepção de classificação e síntese, deste modo, diversos trabalhos que utilizam essas metodologias seguem esta linha de pesquisa da análise integrada, como por exemplo, os trabalhos de SPORL (2001; 2004), AMARAL (2005; 2009), KAWAKUBO *et al* (2005), MANFRÉ (2011), entre outros.

Considera-se a classificação da fragilidade ambiental e vulnerabilidade do solo como de grande utilidade para identificar as práticas conservacionistas mais recomendáveis e programar a execução das mesmas. Para tanto, é necessário desenvolver o particionamento e classificação dos terrenos baseada na utilização de critérios combinatórios e interativos entre as variáveis ambientais, para se qualificar as potencialidades de uso.

Nessa perspectiva, será utilizada a abordagem por meio dos indicadores paramétricos citados anteriormente, definidos com a divisão e classificação da área de estudo com base em valores de atributos selecionados. Este raciocínio favorece um melhor entendimento da dinâmica local e, conseqüentemente, fornece material para a elaboração de trabalhos relacionados ao planejamento e ordenação do território.

De acordo com SILVA (2005), as classificações, embora dependentes da escala de tratamento dos dados, podem ser usadas na organização do conhecimento ambiental, com base para cenários ambientais interpretativos. Quando apoiadas em Sistemas de Informações Geográficas, tais cenários ambientais ganham grande complexidade e aplicabilidade para a definição de possíveis utilizações ordenadas do espaço geográfico pelo homem, isto é, para o planejamento territorial.

As informações alfanuméricas selecionadas no banco de dados são mapeadas, e consultas sobre o mapeamento podem ser remetidas ao banco de dados, onde podem ser respondidas diretamente e ter seus possíveis relacionamentos com dados e questões correlatas levantadas e trazidos à atenção do pesquisador (SILVA, 2005).

De acordo com CÂMARA & BARBOSA (2001), o que distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informação são as funções que realizam análise espacial, as quais utilizam atributos espaciais e não espaciais das entidades gráficas armazenadas na forma de banco de dados e buscam fazer simulações (modelos) sobre fenômenos do mundo real, seus parâmetros ou aspectos.

Os métodos baseados na definição de áreas homogêneas objetivam identificar e descrever unidades semelhantes por meio dos procedimentos analíticos disponíveis em um SIG. Com o objetivo de agrupar estas unidades homogêneas, segundo algum método classificatório ou organizacional do espaço geográfico através de procedimentos de síntese, utiliza-se o processo de *regionalização por agregação ou agrupamento* (CÂMARA & MEDEIROS, 2001).

Os critérios de *regionalização* permitem a realização de operações zonais as quais materializam os conceitos de unidades da paisagem (Bertrand, 1971;

Tricart 1977) no SIG, de modo a permitir a ligação entre os meios físicos, bióticos e socioeconômico.

Nesta perspectiva, este procedimento é aplicável na elaboração dos mapas de fragilidade ambiental (ROSS, 1994) e vulnerabilidade a perda do solo (CREPANI, 2001), na medida em que estes possuem variáveis explicativas, cujo inter-relacionamento permite caracterizar as diferentes unidades territoriais e realizar o particionamento da área de estudo.

As cartas de fragilidade ambiental e de vulnerabilidade natural à perda do solo são documentos cartográficos que combinam planos de informação (*layers*) importantes no desencadeamento dos processos de perda de solo obtidos a partir de mapas feitos previamente, de geologia (substrato rochoso), pedologia (solos), clinografia (declividades) e geomorfologia (relevo). Os elementos do meio físico serão interpretados e ponderados dentro da plataforma de SIG, determinando-se as áreas com diferentes suscetibilidades natural do solo, e o resultado de sua intersecção será um mapa síntese com a divisão de classes de maior e menor tendência à perda do solo.

A partir deste ponto, os procedimentos metodológicos podem ser automatizados por meio de operações booleanas (álgebra de mapas), de modo a originar novos campos a partir da comparação entre valores de campos qualitativos e/ou quantitativos, baseada em relações de ordem e/ou igualdades (operações lógicas realizadas por E, OU ou NAO) como também por operações baseadas na teoria dos conjuntos (soma, produto e complemento).

As operações da álgebra de mapas realizadas nesta pesquisa serão basicamente a ponderação, combinações de dados, classificação e agrupamento.

A ponderação permite associar pesos que indicam a contribuição relativa de cada tema (clima, geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura vegetal e uso da terra) nos processos de morfogênese e pedogênese de acordo com a ecodinâmica de Tricart, e produz como resultado um campo numérico.

Ou seja, consiste em obter um campo numérico a partir de um campo temático, de tal modo que cada local da área de estudo fique associado a um valor indicando o peso de cada classe temática. Por exemplo, um local que apresenta maiores interflúvios (menor dissecação do relevo) receberá um valor mais baixo quando comparado a um local com menores interflúvios (maior dissecação do relevo).

A utilização de ferramentas de análise transfere, por meio de combinações de dados, o conteúdo dos campos temáticos e numéricos para a tabela de atributos das unidades homogêneas, formando-se o mapa cadastral das unidades homogêneas. Por exemplo, cada resultado da ponderação temática individual descrita acima, será sobreposto de modo a gerar um arquivo cadastral que contenha todas as informações que foram unidas.

A classificação consiste em agrupar os valores obtidos em classes. Esta operação classifica os campos numéricos espacializados segundo intervalos de classes definidos pela metodologia gerando novos campos temáticos.

Ou seja, consiste em obter um campo temático a partir de um campo numérico de tal modo que cada local da área de estudo fique associado a um valor sob a

forma de um conjunto de classes temáticas. Por exemplo, o mapa cadastral citado no exemplo anterior será “repartido” de modo a agrupar os valores ponderados de modo coerente.

A reclassificação consiste em agrupar as classes, ou seja, obter um campo temático a partir de outro campo temático, que podem ou não, ser de categorias temáticas distintas, de tal modo que cada local da área de estudo fique associado a um valor de um conjunto de classes temáticas. Por exemplo, o agrupamento obtido da classificação exemplificada acima receberá uma nova reclassificação de modo a originar as classes (muito alta, alta, média, baixa e muito baixa) de vulnerabilidade natural à perda do solo, e de fragilidade ambiental.

Com o avanço das tecnologias dos Sistemas de Informações Geográficas e desenvolvimento de sofisticados algoritmos, as abordagens automatizadas estão ganhando espaço na análise e gestão do território.

Este desenvolvimento é acompanhado da dificuldade de representar a natureza dos processos que ocorrem na superfície terrestre, com análise dos diferentes componentes do meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu inter-relacionamento.

Tal dificuldade, segundo CÂMARA & MEDEIROS (2001), leva a maior parte das aplicações de SIG a representar alguns aspectos da natureza apenas a partir da delimitação da área de estudo, sem capturar suas características particulares que possam distingui-la de seu entorno. Neste contexto, em grande parte das análises da área de estudo é dividida, e cada “compartimento” é examinado e processado separadamente dos demais.

Este exemplo traz em evidência a dificuldade encontrada em ambas as metodologias no que diz respeito ao mosaico de escalas oriundo dos diferentes temas de estudo. ZUQUETTE e GANDOLFI (1990) ainda lembram que em alguns países de baixa condição econômica, devido muitas vezes à falta de infra-estrutura, existe uma considerável dificuldade de obtenção de documentos cartográficos.

Sendo o distanciamento ou aproximação do fenômeno de estudo uma estratégia de análise, a escolha da distância, isto é, a(s) escala(s) adequada(s) para entender o fenômeno, é de grande importância. Disto decorre a necessidade de adequar a escala de trabalho à área de estudo, visto que o detalhamento classificatório das áreas agrupadas é diretamente proporcional à escala das bases disponíveis.

Embora os trabalhos em escala 1:50.000 sejam considerados como uma abordagem regional (ROSS, 1994), alguns dados disponíveis não são adequados para representar a área de estudo, devido aos problemas decorrentes da incompatibilidade da densidade de informações (bases em escalas diferentes), ou seja, um tema possui grau de detalhamento maior do que outro.

Neste contexto, para viabilizar esta pesquisa, novamente afirma-se a necessidade de adequação das bases temáticas utilizadas, bem como a ida ao campo para confirmar os dados de levantamento secundário e complementá-los com dados primários.

Cabe destacar que se trata de um modelo teórico-metodológico e, como qualquer modelo que possa ser aplicado, trata-se de uma representação da realidade de acordo com a perspectiva de enfoque, podendo haver fatores específicos da área de estudo que geram exceções à regra de modo a não condizer com a realidade atual, entretanto representa a sua fragilidade potencial.

Deste modo, torna-se necessário analisar e relativizar detalhes responsáveis pela configuração deste tipo de situação, além de confirmar a necessidade de ida ao campo.

De qualquer forma, considera-se a utilização de modelos útil ao planejamento ambiental, visto que, de modo geral, é uma forma rápida e eficiente de avaliar as potencialidade e fragilidades de determinadas áreas, podendo ser utilizado como base para um trabalho futuro em escala mais detalhada.

7. LEVANTAMENTO E PROCESSAMENTO DE DADOS

Ambas as metodologias em estudo utilizam a ponderação no nível federativo. Entretanto, para a realização das ponderações nesta pesquisa será formada uma hierarquia entre os atributos incidentes na área de estudo condizente com a escala de análise, na tentativa de se obter um resultado mais fiel e preciso.

A seguir, são apresentadas as descrições das bases cartográficas utilizadas para a elaboração dos mapas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade de perda do solo.

7.1. Base cartográfica

A base cartográfica é composta pelos temas hidrografia, curva de nível e ponto cotado, os quais foram digitalizados a partir da carta topográfica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Folha São Paulo (SF-23-Y-C), na escala 1:250.000, com equidistância de 100 metros, para o mapeamento de menor detalhe.

Já para o mapeamento em maior detalhe, foram digitalizadas as cartas na escala 1:50.000, com equidistância de 20 metros de nomes Indaiatuba (SF-23-Y-C-II-2), Jundiaí (SF-23-Y-C-III-1), Santana de Parnaíba (SF-23-Y-C-III-3), Cabreúva (SF-23-Y-C-II-4), Salto (SF-23-Y-C-II-1), Guarulhos (SF-23-Y-C-III-4) e Atibaia (SF-23-Y-C-III-2).

A vetorização destes temas permite a geração de outras bases necessárias, como a carta hipsométrica, a carta clinográfica e o Modelo Numérico e Terreno (MNT).

A base cartográfica na escala 1:50.000 é apresentada nas Figuras 7 e 9, e a base cartográfica na escala 1:250.000 é apresentada nas Figuras 8 e 10

Figura 7: Base cartográfica da bacia hidrográfica do ribeirão do Caxambú, vetorizada na escala 1:50.000.

Figura 8: Base cartográfica da bacia hidrográfica do ribeirão do Caxambú, vetorizada na escala 1:250.000.

FIGURA 9: Base cartográfica da bacia hidrográfica do rio Jundiá, vetorizada na escala 1:50.000.

FIGURA 10: Base cartográfica da bacia hidrográfica do rio Jundiá, vetorizada na escala 1:250.000.

7.2. Modelo Numérico de Terreno

De acordo com CÂMARA & FELGUEIRAS (2001), os modelos digitais são utilizados por uma série de *procedimentos de análises* que são importantes para fins de simulações e tomadas de decisão no contexto de desenvolvimento de aplicações/modelagens que utilizam SIGs.

Deste modo, os produtos das análises podem integrar com outros tipos de dados geográficos objetivando o desenvolvimento de diversas aplicações de geoprocessamento, tais como, estudos de ordenamento do território.

CÂMARA & FELGUEIRAS (2001), afirmam que o Modelo Numérico de Terreno (MNT) pode ser definido como um modelo matemático que reproduz no meio digital uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y), com atributos em z (elevação), que descrevem a variação contínua da superfície, podendo ser representado na forma de uma rede (grade) de pontos.

A geração do MNT requer a digitalização de amostras representativas do fenômeno de interesse (curvas de nível e pontos cotados), nas quais considerou-se a quantidade e a qualidade das amostras, pois uma superamostragem de altimetria em uma região plana significa redundância de informação enquanto que poucos pontos em uma região de relevo movimentado significa escassez de informações. As drenagens também foram consideradas, a fim de representar melhor as características topográficas da superfície e, conseqüentemente, melhorar a qualidade do MNT.

Deste modo, a amostragem na área de estudo foi realizada a partir da digitalização das curvas de nível com equidistância de 20m, pontos cotados e drenagens das cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala 1:50.000.

A representação contínua do fenômeno a partir das amostras requer a criação de estruturas de dados, as quais são processadas pelos algoritmos de análise contidos no SIG. As estruturas utilizadas nesta pesquisa são a *grade regular (GRID)* e a *malha triangular (TIN- triangular irregular network)*.

A grade regular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares (Figura 9). O espaçamento da grade (resolução em x ou y) deve ser menor ou igual a menor distância entre duas amostras com cotas diferentes. Ao se gerar uma grade muito fina (densa), com distância entre os pontos muito pequena, existirá um maior número de informações sobre a superfície analisada, por outro lado, considerando distâncias grandes entre os pontos, a grade criada será grossa, com possível perda de informação.

Esta grade é uma representação matricial que estima (por meio e interpoladores matemáticos) os valores de cota de cada ponto da grade a partir do conjunto de amostras de entrada, sendo que os valores das células que não possuem medidas de elevação são estimados considerando-se a vizinhança de medidas de elevação conhecidas, de modo que cada elemento da matriz está associado a um valor numérico.

FIGURA 11: Superfície e grade regular correspondente no espaço tridimensional XYZ (Fonte: NAMIKAWA, 1995).

As discontinuidades na superfície ocorrem ao longo de linhas, em geral conhecidas por linhas de quebra (linhas de falha, linhas de vale e linhas de crista), as quais caracterizam esta superfície. Os modelos de grades irregulares triangulares permitem incorporar a discontinuidade da superfície em lados diferentes das linhas de quebra, de modo a preservá-la (NAMIKAWA, 1995).

A malha triangular é um conjunto de poliedros cujas faces são triângulos, sendo seus vértices os pontos amostrados da superfície conectados por linhas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x , y) e o atributo z (elevação). Assim, diferentemente da geração de grade regular, os valores de cota dos vértices dos elementos triangulares desta malha não precisam ser estimados por interpolações.

Os TINs (*triangular irregular network*) são construídos pelo critério de triangulação de *Delaunay*, no qual há a maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo, de modo que a malha final contem triângulos o mais próximo de equiláteros possível, evitando-se a criação de triângulos afinados, ou seja, triângulos com ângulos internos muito agudos (Figura 10).

Esta modelagem permite que as informações morfológicas importantes, como as discontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da malha triangular, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno preservando as feições geomórficas da superfície (NAMIKAWA, 1995).

FIGURA 12: Superfície e malha triangular correspondente (Fonte: NAMIKAWA, 1995).

O Quadro 8 apresenta as principais diferenças entre modelos de grade regular e malha triangular para representar Modelos Numéricos de Terreno.

QUADRO 8: Principais diferenças entre modelos de grade regular e malha triangular para representar Modelos Numéricos de Terreno

Grade regular retangular	Grade irregular triangular
Apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo	Não apresenta regularidade na distribuição espacial dos vértices das células do modelo
Os vértices dos retângulos são estimados a partir de amostras	Os vértices dos triângulos pertencem ao conjunto amostral
Apresenta problemas para representar superfícies com variações locais acentuadas	Representa melhor superfícies não homogêneas com variações locais acentuadas
Estrutura de dados mais simples (manuseio e conversão)	Estrutura de dados mais complexa
Relações topológicas entre retângulos são explícitas	É necessário identificar e armazenar as relações topológicas entre triângulos
Mais utilizado em aplicações qualitativas e para análises multiníveis no formato Raster	Mais utilizado em aplicações quantitativas

Fonte: Adaptado de CÂMARA & FELGUEIRAS (2001).

Face ao exposto acima, foram elaborados os dois Modelos Numéricos de Terreno. Utilizou-se o modelo com grade irregular triangular, pois ele se mostrou mais representativo da área de estudo, devido ao destaque das informações morfológicas importantes, como os topos de morros e os fundos de vales.

7.3. Mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico foi elaborado a partir da classificação do MNT com base nas curvas de nível, com equidistância de 20 metros, a fim de estabelecer classes de intervalos de cotas, de modo que cada classe da imagem gerada fique associada ao intervalo de cotas definido dentro dos valores de elevação.

Os intervalos altimétricos foram estabelecidos considerando as principais quebras de relevo representadas nas duas seções topográficas abaixo. As Figuras 13 e 14 apresentam as seções topográficas traçadas.

FIGURA 13: Seções topográficas traçadas.

Sendo assim, com base na topografia de maior detalhe (1:50.000) foram estabelecidas classes hipsométricas distintas, de acordo com as características topográficas particulares de cada área de estudo. Neste sentido, as classes altimétricas de menor detalhe (1:250.000) foram estabelecidas com base nas classes altimétricas das cartas topográficas 1:50.000, sendo que a primeira e última classe foram ajustadas, devido à simplificação das cotas.

As classes hipsométricas são apresentadas no Quadro 9 abaixo.

QUADRO 9: Classes hipsométricas das duas bacias hidrográficas em estudo.

Altimetria (m) da bacia hidrográfica do ribeirão Caxambú (50.000)	Altimetria (m) da bacia hidrográfica do ribeirão Caxambú (250.000)	Altimetria (m) da bacia hidrográfica do rio Jundiáí (50.000)	Altimetria (m) da bacia hidrográfica do rio Jundiáí (250.000)
680-750	700-750	520-650	500-650
750-1000	750-1000	650-750	650-750
1000-1100	1000-1100	750-850	750-850
1100-1150	1100-1150	850-900	850-900
1150-1280	1150-1200	900-1050	900-1050
		1050-1280	1050-1200

De acordo com a carta topográfica 1:50.000, a amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do ribeirão Caxambú e do rio Jundiáí são de 600 metros e 760 metros, respectivamente. Sendo que, em função da generalização dos dados na carta topográfica 1:250.000, a amplitude altimétrica da bacia hidrográfica do ribeirão Caxambú e do rio Jundiáí são de 500 metros e 700m metros, respectivamente. Isto ocorre em função da não representação de algumas curvas de nível, devido a equidistância de 100metros na escala 1:250.000.

Na bacia hidrográfica do rio Jundiáí, a classe 850 a 900m corresponde ao menor intervalo (50m) quando comparado aos demais. Este detalhamento possibilita uma melhor representação dos topos.

Já na classe 1050 a 1280m o intervalo é maior (230m), pois se trata de uma classe restrita à Serra do Japi e à uma pequena parcela da nascente da bacia em Mairiporã.

Na bacia hidrográfica do ribeirão Caxambú, a classe 750 a 1000m corresponde ao maior intervalo (250m), pois representa a base da Serra do Japi, a qual não possui quebras de relevo significativas.

Já a classe 1100 a 1150m o intervalo é menor (50m), para a melhor representação dos topos na Serra do Japi.

Os mapas hipsométricos são apresentados nas Figuras 15 a 18.

FIGURA 14: Localização das seções topográficas na bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú.

FIGURA 15: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do ribeirão do Caxambú, a partir da vetorização das bases na escala 1:50.000.

FIGURA 16: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do ribeirão do Caxambú, a partir da vetorização das bases na escala 1:250.000.

FIGURA 17: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Jundiá, a partir da vetorização das bases na escala 1:50.000.

FIGURA 18: Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Jundiá, a partir da vetorização das bases na escala 1:250.000.

7.4. Carta clinográfica

A confecção da carta clinográfica foi feita a partir da reclassificação do MNT com base na carta topográfica 1:50.000 e 1:250.000. A definição das classes de declividades atende a um espectro bem amplo no que diz respeito à sua utilização na representação cartográfica, para os mais variados usos e ocupação do espaço, seja ele urbano ou agrícola (DE BIASE, 1992).

ZUQUETTE e GANDOLF (2004) afirmam que a definição das classes está condicionada à verificação da frequência e distribuição das medidas da qualidade do mapa topográfico, ou seja, verifica-se aqui a dependência da qualidade do mapa de declividade atrelada a qualidade do MNT.

As classes de declividade a serem utilizadas seguiram os intervalos descritos por ROSS (1994), os quais de acordo com SPORL (2001) são usados internacionalmente nos mapeamentos dos tipos de solos, normatizados e aplicados no Brasil pela EMBRAPA, IBGE, RADAMBRASIL e outros, além de serem compatíveis para a análise da dinâmica do relevo e, também, por possibilitarem a identificação das áreas com maior risco de erosão e, conseqüentemente, verificação de limitações e aptidões do uso do solo.

O Quadro 10 abaixo apresenta as classes de declividade.

QUADRO 10: Classes de declividade.

Classes de declividade (%)	Classes utilizadas para a classificação hierarquizada (%)	Classes hierarquizadas
<3	< 6	Muito fraca
3 a 6		
6 a 12	6 a 12	Fraca
12 a 20	12 a 20	Média
20 a 30	20 a 30	Forte
30 a 50	> 30	Muito forte
>50		

Fonte: Adaptado de ROSS (1994).

Salienta-se que, em primeira instância, as baixas declividades foram classificadas por Ross como de muito baixa fragilidade, todavia o relevo aplainado localizado nos fundos de vale (associados às várzeas dos rios) apresenta alto risco a inundação.

Frente ao exposto, Ross complementou sua metodologia justificando que apesar das baixas declividades apresentarem comportamento diferente nos topos de morro e nos fundos de vale, ambas as áreas terão ponderação semelhantes no que diz respeito à fragilidade. Ou seja, os fundos de vale e planícies de inundação serão tratados como fragilidade muito alta.

As cartas clinográficas são apresentadas nas Figuras 19 a 22.

FIGURA 19: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Caxambú, a partir da vetorização das bases na escala 50.000

FIGURA 20: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do ribeirão do Caxambú, a partir da vetorização das bases na escala 250.000

FIGURA 21: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Jundiá, a partir da vetorização das bases na escala 1:50.000.

FIGURA 22: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Jundiá, a partir da vetorização das bases na escala 1:250.000.

7.5. Mapa Geomorfológico

Os mapeamentos geomorfológicos disponíveis para a área de estudo são os do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1981) e o de ROSS (1997), ambos na escala 1:500.000.

Entretanto, tendo em vista a necessidade de adequação deste mapa para escalas maiores, foram confeccionados dois mapas geomorfológicos baseados na metodologia desenvolvida por ROSS (1997), utilizando-se as curvas de nível e padrão de drenagem como suporte. Ou seja, as feições geomorfológicas foram representadas em escala mais detalhada (1:50.000 e 1:250.000), conforme a rugosidade do terreno e a densidade da drenagem.

As formas de relevo serão identificadas pelo conjunto de letras, as quais se referem à natureza genética das formas (acumulação e denudação), e algarismo arábicos relativos à matriz do índice de dissecação do relevo, a qual apresenta a relação entre a dimensão interfluvial média e o entalhamento médio dos vales, de modo que quanto maior o valor dos algarismos, maior é dissecação, e vice-versa.

Esta classificação permitirá que cada feição geomorfológica seja individualizada, com a finalidade de identificar as principais características geomorfológicas incidente na área de estudo.

O Quadro 11 abaixo apresenta os padrões de forma do relevo.

QUADRO 11: Padrões de formas do relevo

Formas de denudação D - Denudação (erosão)	Formas de acumulação A – Acumulação (deposição)
Da – Forma com topos aguçados	Apf – Formas de planície fluvial
Dc – Forma com topos convexos	Apm – Formas de planície marinha
Dt – Forma com topos tabulares (planos)	Apl – Formas de planície lacustre
Dp – Formas com superfícies planas	Api – Formas de planície intertidal (mangue)
De – Formas de escarpas	Ad – Formas de campos de dunas
Dv – Formas de vertentes	Atf – Formas de terraços fluviais
	Atm – Formas de terraços marinhos

Fonte: Adaptado do Ross (1997)

A partir da Matriz do Índice de Dissecação do Relevo, proposta por Ross (1992), elaborou-se a matriz abaixo (Quadro 12) com os devidos ajustes compatíveis com a área de estudo.

QUADRO 12: Matriz dos Índices de Dissecação do Relevo

	Densidade de drenagem ou dimensão interfluvial média (Classes)	Muito Baixa (1) 1000 a 2700m	Baixa (2) 1000 a 750 m	Média (3) 750 a 500m	Alta (4) 500 a 250m	Muito Alta (5) <250m
Graus de entalhamento dos vales (classes)	Muito Fraco (1) (< de 20m)	11	12	13	14	15
	Fraco (2) (de 20 a 40m)	21	22	23	24	25
	Médio (3) (de 40 a 80m)	31	32	33	34	35
	Forte (4) (80 a 160m)	41	42	43	44	45
	Muito Forte (5) (> 160m)	51	52	53	54	55
Fonte: Adaptado de ROSS (1992)						
Legenda		Muito Fraco	Fraco	Média	Forte	Muito Forte

Após individualizadas as formas de relevo, cada feição foi hierarquizada de acordo com índices morfométricos do terreno, representados pela dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade.

A intensidade de dissecação do relevo pela drenagem está diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha, uma vez que rochas e solos impermeáveis dificultam a infiltração das águas pluviais e, consequentemente, apresentam maior quantidade de água em superfície para ser drenada, portanto, uma maior capacidade erosiva ou de promover a morfogênese.

Já a amplitude altimétrica está relacionada com o aprofundamento da dissecação. Quanto maior a amplitude altimétrica, maior é a capacidade de erosão ou de morfogênese.

Por fim, a declividade refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte, onde quanto maior a declividade, maior é a velocidade da água e, portanto, mais intensa é a erosão que esculpe as formas de relevo (morfogênese).

De acordo com ROSS (1997) e com as novas classificações realizadas com base nas cartas topográficas 1:50.000, a bacia hidrográfica do rio Jundiaí situa-se no Planalto Atlântico, em seu alto e médio curso, e na Depressão Periférica, em seu baixo curso.

O Planalto Atlântico abrange a unidade morfológica do Planalto de Jundiaí, situado na maior parte da área de estudo, com formas de relevo constituídas basicamente por colinas e morros baixos com topos convexos (Dc) e parte por morros altos com topos aguçados (Da). Caracteriza-se como uma região de terras altas, com formas muito dissecadas, com vales entalhados e alta densidade de drenagem.

No nível alto do Planalto Jundiaí, correspondente a Serra do Japi e suas adjacências, as declividades são elevadas, predominam altimetrias entre 900 e 1200m, chegando a atingir 1280m na Serra do Japi, que tem seu topo sustentado por quartzitos e a base por granitos. Trata-se de uma área dispersora de grande importância, onde nascem os cursos d'água afluentes do rio Jundiaí e Atibaia. No nível médio, as cotas altimétricas e declividades das encostas são mais suaves, sendo este relevo sustentado por guinisses e migmatitos.

A Depressão Periférica do Médio Tietê localiza-se no baixo curso da bacia do rio Jundiaí, com formas de relevo denudacionais constituídas basicamente colinas com topos amplos tabulares (Dt 11 e Dt21), com cotas altimétricas mais baixas, maiores interflúvios e baixa densidade de drenagem, quando comparadas ao Planalto de Jundiaí.

As planícies fluviais (Apf), associadas ao rio Jundiaí, Jundiaí-Mirim e Ribeirão Pirai são terrenos planos, de natureza sedimentar fluvial quaternária, geradas por processo de aggradação. Encontram-se em áreas junto às margens dos rios, e por serem baixas e planas são sujeitas a inundações periódicas. Apresentam baixas declividades, e são constituídas por sedimentos arenosos e argilas inconsolidadas.

O mapa geomorfológico na escala 1:250.000 foi confeccionado com base nos mesmos critérios descritos acima, entretanto possui um grau de detalhamento reduzido, com menor densidade de drenagem e maiores interflúvios. Deste modo, as formas de relevo são suavizadas, e algumas não foram representadas.

O Quadro 13 apresenta as formas de relevo da área de estudo, bem como sua respectiva classificação de acordo com os critérios de cada metodologia.

As Unidades geomorfológicas resultantes são apresentadas na Figura 23 e 24.

QUADRO 13: Classificação das formas de relevo quanto à fragilidade

Sigla	Forma de Relevo	Unidade Morfoescultural	Classifi- cação Crepani	Classifi- cação Ross
Dt11	Forma com topos tabulares	Depressão Periférica do Médio Tietê	1	1
Dt21	Forma com topos convexos	Depressão Periférica do Médio Tietê	1,2	1
Dc22	Forma com topos convexos	Nível médio do Planalto Jundiaí	1,4	2
Dc32	Forma com topos convexos	Nível médio do Planalto Jundiaí	1,6	2
Dc33	Forma com topos convexos	Nível médio do Planalto Jundiaí	1,8	3
Dc41	Forma com topos convexos	Nível médio do Planalto Jundiaí	2	3
Dc42	Forma com topos convexos	Nível médio do Planalto Jundiaí	2,2	3
Dc43	Forma com topos convexos	Nível médio do Planalto Jundiaí	2,4	4
Dc44	Forma com topos convexos	Nível médio do Planalto Jundiaí	2,6	4
Dc53	Forma com topos convexos	Nível médio do Planalto Jundiaí	2,8	5
Da52	Forma com topos aguçados	Nível alto do Planalto Jundiaí	3	5
Da53	Forma com topos aguçados	Nível alto do Planalto Jundiaí	3	5
Apf	Planície fluvial	Planícies fluviais	3	5

As Fotos 01 e 02 ilustram duas formas de relevo contrastantes. A primeira mostra a suavidade do relevo com baixa declividade, situado à jusante da bacia hidrográfica do rio Jundiaí, na região de Indaiatuba e Salto, com uso do solo voltado à agricultura e pastagem. Já a segunda mostra a Serra do Japi, no município de Jundiaí, com formas de relevo acidentadas e declividade acentuada, com baixa intervenção antrópica e vegetação preservada.

Foto 01 – Relevo suave com baixa declividade, situado a jusante da bacia hidrográfica do rio Jundiaí.

Foto 02 - Relevo acidentado com declividade acentuada, correspondente à Serra do Japi.

FIGURA 23: Mapa das principais formas de relevo na bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú, de acordo com a rugosidade do terreno e a densidade da drenagem, na escala 1:50.000.

FIGURA 24: Mapa das principais formas de relevo na bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú, de acordo com a rugosidade do terreno e a densidade da drenagem, na escala 1:250.000.

7.6. Dados climatológicos

A principal informação a ser trabalhada dentro da variável climática será a precipitação, na medida em que sua distribuição possui forte relação na evolução das formas de relevo, por meio do intemperismo e da erosão, bem como na distribuição da cobertura vegetal e no regime hídrico dos rios.

Em um MNT é possível ter qualquer tipo de informação no eixo Z, como por exemplo, a precipitação. Deste modo, para a análise do tema “clima” será utilizado os dados pluviométricos dos postos de medição localizados próximos à área de estudo.

A coleta de dados foi feita a partir do banco de dados pluviométricos do Estado de São Paulo, disponibilizado pelo Sistema de Informações para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SIGRH).

Foram selecionados todos os postos integrantes da bacia hidrográfica do rio Jundiaí, sendo estes dados posteriormente complementados, com a finalidade de melhorar a qualidade da interpolação, com os postos de municípios limdeiros à área de estudo.

Estes dados foram tabulados, agrupados e interpolados de modo a gerar classes de intensidade pluviométrica, por meio do cálculo das médias mensais de cada posto pluviométrico. Essas médias mensais foram a base para o cálculo da média total de cada posto.

Sendo assim, diferentemente de CREPANI (2001) e ROSS (1994) que trabalham com amostras em nível macro-regional (escalas pequenas), esta pesquisa pretende trabalhar com dados locais mais compatíveis com escalas grandes, na tentativa de se obter um resultado mais fiel relativo à área de estudo.

Os postos pluviométricos analisados são apresentados no Quadro 14 a seguir.

QUADRO 14: Localização dos postos pluviométricos analisados.

Prefixo do Posto	Município	Funcionamento	Altitude (m)	Coordenada X Leste	Coordenada Y Norte
E3-021	Campo Limpo Paulista (CLP)	1937-1961	750	7430130	316391
E3-025	Jundiaí (JUN)	1937-1971	710	7433730	308952
E3-053	Jundiaí (JUN)	1957-2004	730	7432956	297017
E3-084	Jundiaí (JUN)	1941-1972	700	7442253	302013
E3-230	Atibaia (ATB)	1970-1996	800	7430273	328331
E4-015	Indaiatuba (IND)	1937-2004	630	7445533	272932
E4-016	Salto (SLT)	1937-1950	520	7429428	266352
E4-021	Itupeva (ITP)	1937-1969	660	7437128	287287
E4-030	Cabreúva (CBR)	1964-2003	750	7425379	283474
E4-062	Itupeva (ITP)	1963-2002	690	7445782	290010
E4-124	Indaiatuba (IND)	1970-2006	700	7436413	280469
E3-005	Mairiporã (MRP)	1937-1997	800	7419900	337136
E3-233	Cajamar (CJM)	1971-202	740	7416408	302301
E3-047	Franco da Rocha (FRR)	1937-2007	740	7418587	327882
E3-099	Nazaré Paulista (NZP)	1946-2004	790	7435497	356715
E3-154	Jarinu (JRN)	1952-2003	730	7455470	324040

Prefixo do Posto	Município	Funcionamento	Altitude (m)	Coordenada X Leste	Coordenada Y Norte
E3-015	Itatiba (ITT)	1939-2004	780	7453355	312010
E4-023	Itu (ITU)	1936-2000	640	7417613	261320

Fonte: Adaptado do banco de dados pluviométricos do estado de São Paulo (SIGRH), acessado em 19/01/2012.

A partir das médias mensais de cada posto, foram gerados os respectivos gráficos de intensidade pluviométrica, que permitiram a identificação dos períodos seco (abril a setembro) e chuvoso (outubro a março).

De posse dos dados referentes às médias mensais de cada posto, foi calculada a média anual do volume de chuva de cada posto, somando os valores das médias mensais e dividindo por 12 (quantidade de meses no ano). Os dados obtidos são apresentados no Quadro 15 abaixo.

QUADRO 15: Dados pluviométricos dos postos.

Prefixo do Posto	Média de Jan	Média de Fev	Média de Mar	Média de Abr	Média de Mai	Média de Jun	Média de Jul	Média de Ago	Média de Set	Média de Out	Média de Nov	Média de Dez	Média da Intensidade Pluviométrica
E3-021-CLP	173,16	165,87	112,66	53,35	43,02	36,10	20,93	27,76	46,93	84,54	105,21	152,21	85,14
E3-025-JUN	222,55	207,31	152,97	63,21	48,83	47,80	32,22	38,33	58,47	136,61	138,71	221,06	114,01
E3-053-JUN	218,54	189,29	139,62	64,06	70,08	47,12	41,94	34,39	70,59	125,95	140,51	213,31	112,95
E3-084-JUN	310,33	201,66	163,53	59,24	44,92	49,54	30,35	30,61	53,77	128,28	132,39	191,80	116,37
E3-230-ATB	209,57	187,67	167,45	78,85	84,10	63,63	47,60	43,06	88,78	133,41	146,88	230,08	123,42
E4-015-IND	211,01	182,39	129,83	57,61	53,95	40,10	34,85	29,14	61,36	108,29	114,61	182,35	100,46
E4-016-SLT	94,80	82,97	61,67	46,51	18,24	20,66	13,68	4,59	23,30	30,95	71,53	69,34	44,85
E4-021-ITP	194,75	165,44	132,04	69,96	35,93	28,71	19,94	30,75	84,76	176,69	185,03	231,65	112,97
E4-030-CBR	242,09	194,71	140,58	70,47	71,71	57,30	46,32	37,58	85,22	122,29	144,52	215,50	119,02
E4-062-ITP	240,83	192,36	163,23	72,75	68,06	50,46	40,65	32,18	79,25	121,37	139,68	227,01	118,99
E4-124-IND	235,03	182,57	142,63	68,20	75,18	53,51	47,74	35,89	74,02	124,37	133,13	204,98	114,77
E3-005-MRP	245,14	215,08	159,33	80,43	66,75	54,36	40,67	38,75	74,01	132,38	141,29	216,09	122,02
E3-233-CJM	298,95	243,04	236,10	114,53	115,20	101,08	75,28	73,42	150,07	142,93	200,20	255,76	167,21
E3-047-FRR	233,13	212,29	156,26	66,219	66,29	51,92	40,88	33,99	71,40	133,73	134,13	202,32	116,88
E3-099-NZP	210,15	202,82	163,98	73,53	64,73	48,83	39,09	37,25	74,35	124,04	140,71	188,15	113,97
E3-154-JRN	243,87	190,52	159,30	73,59	70,42	52,14	39,84	39,60	74,76	134,79	149,05	211,47	119,95
E3-015-ITT	227,23	190,32	153,52	67,70	59,93	50,71	35,53	32,04	64,94	126,13	138,42	206,08	112,71
E4-023-ITU	226,71	173,97	140,98	66,20	56,07	57,81	42,53	35,18	68,04	122,53	118,99	182,09	107,59

Fonte: Adaptado do banco de dados pluviométricos do estado de São Paulo (SIGRH), acessado em 19/01/2012.

De posse desse valor final da média anual do volume de chuva, foram utilizados três métodos de interpolação para avaliar o melhor processamento dos dados, sendo eles o Inverso do Quadrado da Distância (IQD), Krigagem e Spline. As Figuras 25, 26 e 27 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos.

Devido à baixa representatividade na espacialização dos dados pelo método da krigagem, a correlação espacial foi realizada por meio de ajustes no método Spline e do Inverso do Quadrado da Distância (IQD), visto que o primeiro apresentou melhores resultados na porção central, e o segundo na porção leste e oeste da área de estudo.

Os intervalos adotados para a representação das médias pluviométricas foram estabelecidos de acordo com sua representatividade na área de estudo, de modo a existir um maior detalhamento entre as classes 110mm e 120mm, e uma generalização nas informações referentes à índices pluviométricos inferiores a 90mm e superiores a 120mm.

Para este tema não foram confeccionados mapas distintos conforme a escala (1:50.000 e 1:250.000), devido a falta de critérios para generalização e/ou detalhamento dos ajustes na correlação espacial dos métodos de interpolação.

A partir do Quadro 15, foi estabelecida a classificação das características pluviométricas da área de estudo de acordo com os critérios de cada metodologia relativos à erosividade da chuva (Quadro 16).

QUADRO 16: Dados pluviométricos dos postos.

Média anual do volume de chuva (mm)	Classificação Crepani	Classificação Ross
Até 90	1	1
100	1,4	2
110	1,8	3
120	2,2	4
130	2,6	5
150	3	5

O posto de menor intensidade pluviométrica (44.85 mm) foi o localizado a jusante da bacia hidrográfica do rio Jundiá, no município de Salto, com a menor cota altimétrica (520 m), em uma área de relevo mais aplainado. Já o posto com maior precipitação (167.21mm) se localiza nas adjacências da base da Serra do Japi, no município de Cajamar, com 740 metros de altitude em uma área de relevo bastante acidentado.

Nota-se uma importante correlação entre a dissecação do relevo, densidade de drenagem e de cobertura vegetal com a distribuição da intensidade pluviométrica. Os maiores valores pluviométricos estão associados a regiões com maior declividade, que correspondem à Serra do Japi (cabeceira da bacia hidrográfica do ribeirão do Caxambú) e às proximidades do município de Atibaia e Mairiporã (cabeceira da bacia hidrográfica do rio Jundiá).

A Figura 28 apresenta a espacialização das médias anuais do volume de chuva na área de estudo.

FIGURA 25: Localização dos postos pluviométricos na bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú, com interpolação das médias anuais do volume de chuva pelo método do Inverso do Quadrado da Distância (IQD).

FIGURA 26: Localização dos postos pluviométricos na bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú, com interpolação das médias anuais do volume de chuva pelo método da Krigagem.

FIGURA 27: Localização dos postos pluviométricos na bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú, com interpolação das médias anuais do volume de chuva pelo método Spline.

FIGURA 28: Médias anuais do volume de chuva na bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú.

7.7. Mapa Geológico

As principais unidades litológicas foram vetorizadas de acordo com o georreferenciamento do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, elaborado em 1999 pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) na escala 1:250.000.

A hierarquização deste tema foi realizada com base no grau e coesão das rochas, de acordo com sua dureza e porosidade. De acordo com a concepção da Ecodinâmica de Tricart, as rochas pouco coesas são mais sujeitas aos processos erosivos modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas mais coesas prevalecem os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese).

Nota-se que as condições ambientais possuem forte relação no processo de denudação das rochas, sendo o intemperismo físico e químico e a erosão, os principais responsáveis neste processo. Neste sistema, quanto mais o agente intemperizador (água) fica em contato com o mineral, mais ele será intemperizado, ou seja, quanto mais porosa a rocha, ou mais fraturada, mais água pode atacar seus grãos constituintes e mais rapidamente também são retirados os produtos do intemperismo para que novas superfícies do cristal sejam expostas e intemperizadas. (CREPANI, 2001)

Conforme já discutido no tema referente à geomorfologia, no nível alto do Planalto Jundiaí, correspondente a Serra do Japi e suas adjacências, as declividades e altimetrias são elevadas, e seu topo é sustentado por quartizitos e a base por granitos. No nível médio, as cotas altimétricas e declividades das encostas são mais suaves, sendo este relevo sustentado por guinaisse e migmatitos.

A Depressão Periférica do Médio Tietê localiza-se no baixo curso da bacia do rio Jundiaí, com formas de relevo denudacionais constituídas basicamente colinas com topos amplos tabulares (Dt) e convexos (Dc), com cotas altimétricas mais baixas, maiores interflúvios e baixa densidade de drenagem, quando comparadas ao Planalto de Jundiaí.

As planícies fluviais, associadas ao rio Jundiaí, Jundiaí-mirim e Ribeirão Pirai são terrenos planos, de natureza sedimentar fluvial quartenária, geradas por processo de agradação. Encontram-se em áreas junto às margens dos rios, e por serem baixas e planas são sujeitas a inundações periódicas. Apresentam baixas declividades, e são constituídas por sedimentos arenosos e argilas inconsolidadas.

As unidades litológicas incidentes na área de estudo, e classificadas conforme descrito acima, são apresentadas no Quadro 17 a seguir. Salienta-se que a classificação foi realizada apenas com base na metodologia de Crepani, visto que Ross não utiliza este tema em sua metodologia.

Para este tema não foram confeccionados mapas distintos conforme a escala (1:50.000 e 1:250.000), devida a falta de bases para o detalhamento das unidades geológicas.

O mapa geológico é apresentado na Figura 29.

Quadro 17: Unidades litológicas hierarquizadas incidentes na área de estudo

Sigla	Nome	Unidade	Composição	Classificação Crepani
42a	Domínio Socorro-Guaxupé	Complexo Piracaia	Quartzito puro	1
42b	Domínio Socorro-Guaxupé	Complexo Piracaia	Quartzito feldspático, branco e fino, locamente com intercalações de calcissilicáticas, quartzitos conglomeráticos, metarenitos, gonditos e anfibolitos	1
63a	Domínio São Roque	Rochas Ígneas	Pedra vermelha - Monzogranitos e sienogranitos quartzosos miloníticos, inequigranulares	1.2
70	Domínio São Roque	Rochas Ígneas	Sienogranito porfiróide, leucocrático, foliado (Tevere)	1.2
24d	Domínio Socorro-Guaxupé	Rochas Ígneas	Cabreúva-Sienogranitos equigranulares, róseos, finos a médios, médios a grossos, sienomonzogranitos porfiróides róseos e, subordinadamente, granitóides equigranulares cinza, porfiríticos cinza e róseos e duas associações: xenolítica e de melagranitóide	1.2
27	Domínio Socorro-Guaxupé	Rochas Ígneas	Cachoeira- Biotita monzogranitos inequigranulares, grossos, monzogranitos a quartzomonitos inequigranulares, finos a médios, cinzas a róseos e sienomonzogranitos médios a grossos, cinza. Subordinadamente biotita sienogranito porfiróide rosado, pouco foliado e monzogranito fino, cinza	1.2
28	Domínio Socorro-Guaxupé	Rochas Ígneas		1.2
22	Domínio Socorro-Guaxupé	Rochas Ígneas	Granitos equigranulares róseos, hololeucocráticos, médio a grossos. Subordinadamente granitos equigranulares, cinzas, médios a finos, maciços e granitos porfiróides, cinza, izótopos, leucocráticos, inequigranulares	1.3
24a	Domínio Socorro-Guaxupé	Rochas Ígneas	Indaiatuba- Granitos porfiróides com textura rapakivi, pegmatóides, matriz grossa	1.3
24b	Domínio Socorro-Guaxupé	Rochas Ígneas	Itupeva- Granitos petrograficamente diversos: róseos e cinzas equigranulares, róseos inequigranulares, diversos granitos porfiríticos e porfiróides róseos e malagranitóides	1.3
24c	Domínio Socorro-Guaxupé	Rochas Ígneas	Salto - Rochas graníticas, porfiríticas e porfiróides, rapakivis, equigranulares	1.3
30	Domínio Socorro-Guaxupé	Rochas Ígneas	Granitos róseos foliados	1.3
33a	Domínio Socorro-Guaxupé	Rochas Ígneas	Granitos foliados cinza	1.3
43b	Domínio Socorro-Guaxupé	Complexo Piracaia	Metatonalitos e metaquartzodioritos	1.4
44	Domínio Socorro-Guaxupé	Complexo Piracaia	Alternância de paragneisses quartzosos (biotita gnaisses quartzosos) com biotita quartzitos. Restritos níveis de metabasitos e xistos	1.4
35b	Domínio Socorro-Guaxupé	Rochas Ígneas	Migmatitos estromáticos e de injeção	1.5
38	Domínio Socorro-Guaxupé	Complexo Piracaia	Migmatitos metatexíticos: rochas heterogêneas, com estrutura bandada, arteerística, estromática e schollen. Paleossoma de biota gnaiss, biota-xistos, calcissilicáticas e quartzitos, e neossoma granítico e aplítico (granodiorítico) a pegmatóide	1.5
39	Domínio Socorro-Guaxupé	Complexo Piracaia	Migmatitos diatexíticos: rochas homogêneas, com estrutura nebulística, homófona w oftalmítica.	1.5

Sigla	Nome	Unidade	Composição	Classificação Crepani
			Neossoma de biota-hornblenda, monzogranito, quartzomonzonito e quartzomonzodiorito. Paleossoma: relictos difusos de gnaiss e xistos	
43a	Domínio Socorro-Guaxupé	Complexo Piracaia	Gnaiss peraluminosos migmatizados, principalmente moscovita-silimanita-granada-biotita gnaisses xistosos, finos a médios. Intercalações de granada-biotita gnaisses, gonditos, calcissilicáticas, quartzitos, anfibolitos, micaxistos, silimanita-bioti*	1.5
47	Domínio Socorro-Guaxupé	Complexo Piracaia	Migmatitos estromáticos: com leucossoma granítico e paleossoma gnáissico, com granada e localmente sillimanita. Intercalações de anfibolitos	1.5
73b	Domínio São Roque	Grupo Serra do Itaberaba	FM Pedra Preta - Micaxistos	1.7
73d	Domínio São Roque	Grupo Serra do Itaberaba	FM Pedra Preta - Micaxistos, hornfels-xistosos e xistos migmatizados	1.7
41	Domínio Socorro-Guaxupé	Complexo Piracaia	Predomínio de (+/- estauroлита +/-silimanita +/- quartzo +/-granada) muscovista-biota xistos alternados com lentes de quartzitos; localmente ocorrem anfibolitos, meta hornblenda garbos, metarenitos e calcissilicáticas	1.7
43c	Domínio Socorro-Guaxupé	Complexo Piracaia	Anfibolitos	1.8
71b	Domínio São Roque	Grupo Serra do Itaberaba	FM Nhanguçu - Xistos porfiroblásticos, com andaluzita, localmente leitos com magnetita, turmalina ou quartzo e metacherts	2
34	Domínio Socorro-Guaxupé	Rochas ígneas	Hornblenda ortognaisses e biotita ortognaisses	2
67a1	Domínio São Roque	Grupo São Roque	FM. Estrada dos Romeiros- Biotita-sericita filito e quartzo filito, por vezes bandados subordinadamente lentes de filitos grafitosos, metarenitos, metacórseos, quartzitos, calciossilicáticas, anfibolitos, metabásicas e quartzitos finos que gradm para microconglomerados	2.1
67b3	Domínio São Roque	Grupo São Roque	FM. Estrada dos Romeiros-Sericita filitos e quartzo filitos laminados/quartzitos puros e impuros, localmente lentes de micrometaconglomerados, filitos grafitosos e intercalações de anfibolitos	2.1
21a	Subgrupo Itararé	Bacia do Paraná	Arenitos, siltitos, folhelhos, argilitos, diamictitos, tilitos e, ocasionalmente, níveis de carvão	2.4
67c2	Domínio São Roque	Grupo São Roque	FM. Estrada dos Romeiros-Metarenitos e metarenitos bandados, por vezes microconglomerático, e metagrauvacas; intercalações de filitos laminados e raros ortoquartzitos	2.5
21h	Subgrupo Itararé	Bacia do Paraná	Argilitos e diamictitos	2.7
1	Aluviões recentes a atuais	Coberturas sedimentares	-	3
8	Coberturas cenozóicas indiferenciadas	Coberturas sedimentares	-	3

Fonte: Adaptado de CPRM (1999) e Crepani (2001).

FIGURA 29: Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú.

7.8. Mapa Pedológico

O mapa de solos disponível para a área de estudo é o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA *et al.*, 1999), na escala 1:500.000, visto que não foram encontrados mapas mais detalhados da área de estudo.

A distribuição dos elementos da paisagem possui propriedades que se agrupam em padrões homogêneos que caracterizam unidades fisiográficas e pedológicas, nesse sentido a espacialização das classes de solo apresenta-se ordenada com forte influência das variações morfométricas ao longo das vertentes, observando-se então, uma ligação de causa e efeito entre a topologia e a distribuição dos tipos de solo (HERMUCHE *et al.*, 2002).

Neste contexto, tendo em vista a necessidade de adequação deste mapa para escalas maiores, foram confeccionados dois mapas pedológicos utilizando-se a morfometria como suporte, com ajustes geométricos das classes baseados nas curvas de nível, padrão de drenagem e, principalmente, na declividade.

Deste modo, inferiram-se novas classes pedológicas em escala mais detalhada, com base nas cartas topográficas 1:50.000 e 1:250.000. Entretanto, devido a generalização das curvas de nível e drenagem da carta topográfica 1:250.000, quando comparada a 1:50.000, as classes pedológicas do primeiro não apresentaram o mesmo grau de detalhamento em relação ao segundo.

A ponderação dos tipos de solo foi feita baseada nos processos morfodinâmicos, no qual os solos são oriundos da relação morfogênese/pedogênese, conforme já descrito no capítulo referente às bases conceituais da suscetibilidade à erosão dos solos.

Os solos mais estáveis são mais desenvolvidos e intemperizados, onde os eventos naturais favorecem os processos de pedogênese, isto é, o ambiente favorece a formação e o desenvolvimento do solo. Já os solos mais instáveis são menos desenvolvidos, onde prevalecem os processos modificadores do relevo (morfogênese) e, por isso, existe um predomínio dos processos de erosão em detrimento aos processos de formação e desenvolvimento do solo.

A drenagem também é um indicador dos tipos de solo, onde os solos mais arenosos favorecem a infiltração d'água em detrimento do escoamento superficial, de modo a formar redes de drenagem menos densas quando comparada aos locais com solos argilosos, os quais apresentam menor permeabilidade e, conseqüentemente, um maior escoamento d'água e um padrão mais denso de drenagem.

Os principais tipos de solo encontrados na área de estudo, bem como sua respectiva classificação de acordo com os critérios de cada metodologia referente ao grau de estabilidade, são apresentados no Quadro 18 abaixo.

Quadro 18: Tipos de solos* hierarquizados encontrados na área de estudo

Classe pedológica	Descrição	Classificação quanto à estabilidade Crepani	Classificação quanto à estabilidade Ross
Latossolo	São solos profundos, bem drenados, com textura média ou mais fina, e pequena variação de argila entre os horizontes, o que permite uma maior infiltração d'água no sentido vertical e, consequentemente, apresenta menor densidade de drenagem superficial. Geralmente ocorrem em relevos planos ou suavemente ondulados, com baixa declividade, onde é menor o grau de erosão.	1	1
Argissolos	São solos profundos e possuem maior teor de argila no horizonte B, fazendo com que a infiltração d'água seja mais lenta, o que aumenta a densidade de drenagem superficial, bem como sua capacidade erosiva. Geralmente ocorrem em relevos ondulados ou fortemente ondulados, com declividade um pouco mais acentuada.	2	2
Cambissolos	Apresentam valores variáveis de saturação, textura média ou mais fina, moderadamente profundos, com teor relativamente alto de silte. Geralmente ocorrem em relevos fortemente ondulados, com declividade elevada e maior densidade de drenagem superficial.	2,5	3
Neossolo	São solos rasos com grau de saturação e textura variáveis, dependendo do material de origem. Possuem elevado potencial erosivo devido a sua baixa profundidade e elevada declividade.	3	4
Gleissolo	Ocorrem nas várzeas, são caracterizados pela coloração acinzentada, em decorrência da oscilação do nível do lençol freático, e apresentam declividades muito baixas. Estão sujeitos à inundação periódica.	3	4

Grau de instabilidade

Fonte: Adaptado de Crepani (2001) e PRADO (1998).

*Classificação realizada com base na Nova Classificação Brasileira de Solos (Embrapa,2006).

Os mapas pedológicos são apresentados nas Figuras 30 e 31.

FIGURA 30: Mapa pedológico da bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú, a partir da vetorização das bases na escala 1:50.000.

FIGURA 31: Mapa pedológico da bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú, a partir da vetorização das bases na escala 1:250.000.

7.9. Carta de uso e ocupação do solo e cobertura vegetal

Segundo CROSTA (1992), um dos principais objetivos do sensoriamento remoto é o de distinguir e identificar as composições de diferentes materiais superficiais, sejam estes tipos de vegetação, padrões de uso do solo e outros. Esta distinção e identificação tornam-se possíveis devido ao fato dos materiais superficiais terem comportamentos específicos ao longo do espectro eletromagnético, comportamento esses que podem ser usados para identificá-los.

De acordo com CAMARA & MONTEIRO (2001), as imagens representam formas de captura indireta de informação espacial, sendo armazenadas como matrizes, na qual cada elemento de imagem ("pixel") tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

A realização do mapa temático de uso e ocupação do solo será baseada na classificação manual individual, na qual cada grupo de pixels da imagem é associado a um rótulo, definido previamente, que traduz a capacidade de refletância de um determinado objeto da superfície.

Não foi realizada classificação automática devido à dificuldade de selecionar pixels representativos de uma única classe. De modo que a agregação da informação espectral de cada pixel isolado para encontrar regiões semelhantes poderia induzir a uma maior percentual de erro.

Os agrupamentos espaciais serão executados com o apoio em generalizações nas quais haverá a desconsideração das ocorrências de menor porte e a agregação de áreas por critérios como texturas e cores. Neste sentido, grupos homogêneos de pixels serão agrupados originando classes de cobertura de solo.

Segundo CROSTA (1992) para a interpretação visual das imagens, devem ser considerados os parâmetros a seguir:

- **Tonalidade-** Identificação e diferenciação dos objetos pela cor e/ou brilho, que estão relacionados à respectiva capacidade de refletâncias;
- **Textura-** Efeito conjunto das pequenas feições que compõe uma imagem, por meio da combinação da magnitude e frequência da variação tonal da imagem, definindo a aparência lisa ou rugosa;
- **Sombreamento-** Reflete a forma do objeto no momento do imageamento em relação à luz do sol, sendo possível estimar as formas e altura do objeto, entretanto pode também ocultá-los;
- **Forma-** Desenho geométrico do objeto, no qual as formas mais irregulares indicam objetos naturais, enquanto as formas mais irregulares denotam objetos artificiais/ culturais;
- **Padrão-** Ocorrência e organização de objetos na superfície, formando-se classes que se diferem do conjunto, facilitando a interpretação;
- **Tamanho-** Varia em função da escala e resolução de tratamento da imagem, servindo de referencial comparativo; e

- Localização – O pré-conhecimento do local imageado aumenta e direciona a capacidade de interpretação da imagem.

O satélite TM/ETM+ Landsat 5 apresenta uma resolução espacial de 30 metros, entretanto o satélite TM/ETM+ Landsat 7 oferece a possibilidade de composição com 15 metros de resolução espacial com a banda pancromática (EMBRAPA, 2012).

O critério de escolha desta imagem se baseou no percentual da área de recobrimento. O satélite CBERS 2B (*China-Brazil Earth Resources Satellite* ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) apesar de possuir uma resolução espacial de 2,7 metros no sensor HRC, não apresentava recobrimento total da área de estudo.

O processamento das bandas foi realizado baseado nas imagens do satélite TM/ETM+ Landsat 5 de 08/11/2011 na composição 5R4G3B (banda 5 no vermelho; banda 4 no verde e banda 3 no azul), e do satélite TM/ETM+ Landsat 7 de 02/2/2003 na composição 7R4G2B (banda 7 no vermelho; banda 4 no verde e banda 2 no azul).

De acordo com Crepani (2001), nesta composição os matizes de cores são atribuídos à banda 4 onde é muito mais evidente a resposta refletida pela vegetação, de modo a diferenciar as diferentes densidades de cobertura vegetal. Os matizes do magenta, resultado da resposta refletida pelo solo arenoso em porcentagem maior nas bandas 3 e 5 ou 2 e 7 (azul + vermelho = magenta), identificam áreas com exposição de solo, ou rocha, com reduzida cobertura vegetal. E os matizes do azul se relacionam à água.

Entretanto, após o processamento das bandas de ambas as imagens o resultado não sofreu alterações consideráveis, de modo que a análise e interpretação para a confecção dos polígonos de uso do solo foi realizado sobre a imagem mais recente, correspondente ao Landsat 5.

O método de classificação visual utilizado parte do princípio de reconhecimento da imagem a ser classificada para poder definir as classes representativas.

A bacia hidrográfica do rio Jundiaí abrange municípios de significativa expressão econômica, com crescimento da industrialização, incremento urbano e esvaziamento das áreas rurais.

Em relação aos cultivos nas áreas rurais, as culturas perenes são as explorações cujo ciclo não é estabelecido, variando em função das condições do meio ambiente, com duração de vários anos. Elas compreendem as culturas de café, citrus, chá, cacau, banana, uva e frutíferas em geral, e possuem maior representatividade na área de estudo.

Os municípios de Atibaia, Indaiatuba, Itatiba, Itupeva, Jarinú, Jundiaí e Louveira integram o circuito das frutas que, além de estimular a produção é também um atrativo turístico da região.

As Fotos 03 a 05 ilustram a produção de uvas que possui significativa expressão na região, e a Foto 06 uma área de pastagem.

Foto 03 – Parreiras de uvas produzidas na região de Indaiatuba e Itupeva.

Foto 04 – Parreiras de uva na região de Indaiatuba e Itupeva, notar a suavidade do relevo (Dt 21 e Dt11).

Foto 05 – Parreiras de uva na região de Indaiatuba e Itupeva, notar a significativa dimensão do cultivo.

Foto 06 - Área de pastagem em meio a pequenos fragmentos de vegetação

Já as culturas temporárias englobam os cultivos anuais, ou de ciclo cultural estabelecido, mesmo ultrapassando esse período, caracterizadas como anuais e semiperenes. Por exemplo, milho, arroz, batata, tomate, algodão, soja, feijão, mandioca, amendoim, mamona, abacaxi, cana de açúcar e hortifrutigranjeiras. Entretanto, estas culturas não foram mapeadas, pois não foram encontradas em campo.

De acordo com Fadini (1998), os efeitos em decorrência do mau uso da terra podem ser danosos, já que a maior parte do relevo da bacia do rio Jundiá é acidentado de modo a favorecer os processos de perda de solo. Associa-se a esse quadro, a possibilidade de assoreamentos nos cursos dos rios, se não forem adotadas práticas conservacionistas adequadas e recomendadas.

O mesmo estudo ainda afirma que em muitas das pequenas propriedades presentes na bacia do rio Jundiaí predominam o uso da terra com hortifrutigranjeiros e para fins de recreação e lazer nos finais de semana, principalmente para habitantes da capital paulista.

Além dos problemas decorrentes do uso indevido do solo para fins agrícolas, há também os promovidos pelos intensivos aglomerados urbanos designados como áreas conurbadas como Jundiaí, Campo Limpo, Várzea Paulista, e por outro a expansão dos bairros de Indaiatuba em direção ao município de Salto.

A industrialização é intensiva e diversificada, destacando-se as indústrias alimentícias, de bebidas, tecelagem, metalurgia, louças e aparelhos sanitários, fósforos e calçados em Jundiaí; as de produção de minerais não metálicos, têxtil, borracha, couro e fertilizantes em Campo Limpo Paulista; química em Várzea Paulista; de instrumentos musicais, metalurgia e química em Itupeva; de microtratores, motores diesel e tecidos em Indaiatuba; abrasivos, bombas hidráulicas, fibras, papel e tecido em Salto (CETESB, 1994).

De acordo com NEVES (2005), os bens minerais explorados atualmente são, principalmente, areia e brita, para a construção civil, areia para fins industriais e argila para cerâmica vermelha.

As Fotos 07 e 08 ilustram o avanço industrial.

Foto 07 – Fábrica nas proximidades de Indaiatuba e Salto.

Foto 08 – Área industrial localizada no município de Jundiáí.

Paralelamente a este cenário urbano industrial, a bacia também possui elevados percentuais de áreas vegetadas (incluindo cobertura vegetal e áreas de reflorestamento), quando comparada às bacias vizinhas (São Paulo, 2000b).

A preservação destas áreas possui forte relação com a criação da Área Natural Tombada Serras do Japi, Guaxinduva e Jaguacoara e das Áreas de Proteção Ambiental (APAs) de Jundiáí e Cabreúva. Juntas, essas APAs ocupam aproximadamente 40% da bacia do rio Jundiáí.

De acordo com São Paulo (2000b), a maior parte da vegetação encontrada na bacia do rio Jundiáí é de reflorestamento por espécies exóticas, como eucalipto e *pinus*, que alimentam as indústrias de madeira, celulose e papel. Apenas em determinados trechos, concentrados na Serra do Japi, encontram-se resquícios de vegetação natural, sendo as matas ciliares e várzeas fortemente alteradas.

O cenário vegetal na Serra do Japi é composto por remanescentes da Mata Atlântica que incluem formações de Mata, Capoeira, Cerrado, Campo Cerrado e Vegetação Natural de Várzea. Nos locais de solos rasos e pedregosos ocorre vegetação com características xeromórficas, tais como cactos, bromélias, arbustos e árvores de pequeno porte com ramos finos e retorcidos.

As Fotos 09 e 10 ilustram fragmentos de reflorestamento de eucaliptos, e as Fotos 11 e 12 apresentam fragmentos de vegetação densa da Serra do Japi.

Foto 09 – Cultivo de eucaliptos ao fundo

Foto 10 – Cultivo de eucaliptos ao fundo

Foto11 – Vista da porção leste da Serra do Japi, a partir da Rodovia dos Bandeirantes.

Foto 12 - Vista da porção noroeste da Serra do Japi, a partir da Rodovia Dom Gabriel Paulino Bueno Couto.

A interpretação das imagens de satélite, complementadas com as informações recolhidas em campo, permitiram a elaboração do Quadro 19, com os principais usos do solo na área de estudo, bem como sua respectiva classificação de acordo com os critérios de cada metodologia.

Para a confecção do mapa de uso e ocupação na escala 1:250.000 foram realizadas generalizações com base no tom do pixel, de modo que não foi possível interpretar as cavas de mineração e solo exposto, como também realizar a distinção do grau de adensamento urbano.

QUADRO 19: Principais usos do solo na área de estudo

Exemplo de imagem correspondente	Uso do solo	Descrição	Classificação quanto à estabilidade Crepani 1:50.000	Classificação quanto à estabilidade Ross 1:50.000	Classificação quanto à estabilidade Crepani e Ross 1:250.000
Corpos d'água	Corpos d'água	1	1	1
Mata Densa	Fragmentos e mata de grande porte	1	1	1
Agricultura perene	Atividade de plantio de culturas diversas sem duração de ciclo estabelecido	2	2	3
Pastagem com fragmento de mata degradada	Fragmentos de mata dissipados e com pequeno porte em meio a atividades ligadas à agropecuária (Pastagem / Campo antrópico)	2	2	3
Área urbana consolidada	Núcleo urbano consolidado	2	2	2
Área urbana de baixo adensamento	Indústrias, pequenos aglomerados urbanos, chácaras, equipamentos públicos	2,5	3	*
Cava de mineração	Extração mineraria por meio de cavas	3	4	*
Solo exposto	Fragmentos de solo desprovido de cobertura vegetal e/ou ocupação urbana	3	4	*

* Não Mapeado

A Figura 32 apresenta a imagem de satélite TM/ETM+ Landsat 5, a Figura 33 apresenta a imagem de satélite TM/ETM+ Landsat 7, e as Figuras 34 e 35 os mapas de uso e ocupação do solo feito sobre satélite TM/ETM+ Landsat 5.

FIGURA 32: Imagem de satélite Landsat 5 correspondente a área da bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú.

FIGURA 33: Imagem de satélite Landsat 7 correspondente a área da bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú.

FIGURA 34: Mapa de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú, interpretado na escala 1:50.000.

FIGURA 35: Mapa de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Jundiá e do ribeirão do Caxambú, interpretado na escala 1:250.000.

8. DISCUSSÃO E CORRELAÇÃO DAS METODOLOGIAS

Neste capítulo pretende-se discutir os resultados obtidos perante a variação de escala no modelo de Fragilidade Ambiental, como também no de Vulnerabilidade à Perda do Solo.

Cada metodologia apresenta uma forma particular de calcular os graus de fragilidade ambiental e vulnerabilidade à perda do solo, mas ambas se baseiam no princípio da ecodinâmica de Tricart, no qual os processos de pedogênese (formadores de solo) e morfogênese (modificadores das formas de relevo) são os principais atores na classificação do meio ambiente.

As Unidades Estáveis (Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Potencial e UTB Estável) são áreas que estão em equilíbrio dinâmico em seu estado natural. Nelas, por exemplo, o impacto da água da chuva é atenuado pela cobertura vegetal, sendo lento o escoamento das águas que atingem a superfície, bem como sua infiltração.

Já as Unidades Instáveis (Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Emergente e UTB Vulnerável) são os ambientes naturais que foram modificados pelo homem com desmatamentos, agriculturas, industrialização e urbanização, também chamados de ambientes antropizados.

Nelas, o equilíbrio entre o meio e as atividades humanas foi rompido, de modo que, por exemplo, a substituição de vegetação por pastagens e agriculturas favorece a atuação direta da água da chuva no solo, gerando processos erosivos.

Em ambas as metodologias houve um detalhamento dentro de cada unidade, por meio de ponderações, classificando-as em vários graus segundo a estabilidade/ instabilidade que variam de muito forte até muito fraca.

Nesta linha de raciocínio, Ross e Crepani utilizam as mesmas variáveis (exceto o tema geologia), e as fundamentam nos seguintes critérios de avaliação:

- Geologia (utilizada apenas por Crepani) – Se baseia na dureza e porosidade da rocha, de modo que as rochas mais duras e menos porosas apresentam maior estabilidade;
- Geomorfologia – Se baseia na dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade, de modo que a estabilidade está associada aos maiores interflúvios - que representam relevos menos dissecados - às menores amplitudes altimétricas - com menor superfície exposta à ação da energia cinética da chuva - e à menor declividade;
- Pedologia - Se baseia na estrutura, permeabilidade e profundidade, de modo que os solos mais estáveis são os mais desenvolvidos, intemperizados;
- Vegetação e Uso do Solo- Se baseia na densidade da cobertura vegetal e no tipo de uso do solo, de modo que a estabilidade está associada ao maior grau de proteção do solo do intemperismo, como por exemplo, as coberturas vegetais mais densas;

- Clima - Se baseia na intensidade pluviométrica e distribuição sazonal, de modo que a estabilidade está associada aos menores índices pluviométricos e maior duração para o período chuvoso.

Os itens a seguir mostram os resultados obtidos em cada metodologia

8.1. A Fragilidade Ambiental na Metodologia de Ross

O modelo de fragilidade ambiental desenvolvido por ROSS (1994) se baseia na análise integrada dos temas geomorfologia (índice de dissecação do relevo), solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima (regime pluviométrico).

A metodologia propõe que cada tema seja hierarquizado em cinco classes de acordo com as respectivas fragilidades do ambiente em relação aos processos ocasionados pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais, de modo que, as variáveis mais estáveis apresentarão valores próximos a 1,0, as intermediárias próximos a 3,0 e as instáveis próximas a 5,0.

Deste modo, a classificação da fragilidade foi realizada a partir da combinação de quatro variáveis, sendo primeiramente o relevo, seguido do solo, cobertura vegetal/uso da terra e, por fim, o clima.

Nesta metodologia, a variável Índice de Dissecação do Relevo (1º dígito) é a mais expressiva, e que irá determinar o índice de fragilidade de cada área, sendo que as demais variáveis irão definir o grau de hierarquização das mesmas.

Entretanto, o fato do agrupamento dos graus de fragilidade considerarem o primeiro dígito (relevo), o produto final se assemelha bastante com o tema geomorfologia.

Sendo assim, este modelo apresenta como resultado uma fragilidade baseada na dissecação do relevo, mas que pode não refletir as características da área, pois nem sempre o relevo mais dissecado é o mais frágil, pois a fragilidade também depende de outras variáveis (tipo de rocha, clima, etc.).

Os Quadros 20 e 21 apresentam a ponderação de cada variável utilizada para estabelecer os intervalos de classe contido nos agrupamento dos graus de fragilidade nas escalas 1:50.000 e 1:250.000, respectivamente.

As Figuras 36 e 37 apresentam os mapas de fragilidade ambiental nas escalas 1:50.000 e 1:250.000, respectivamente, obtidos com base nas combinações apresentadas nos Quadros 20 e 21.

QUADRO 20: Agrupamentos contidos nos graus de fragilidade na escala 1:50.000 na metodologia de Ross.

Grau de Fragilidade	Intervalo de Classe	Relevo	Solo	Uso	Clima	Área	
						Km²	%
Muito fraca	1111 ; 1114 ; 1121 ; 1122 ; 1123 ; 1124 ; 1134 ; 1214 ; 1224 ; 1311 ; 1321 ; 1322	Dt11 ; Dt21	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água	60 ; 70 ; 90 ; 100 ; 110 ; 120	149.31	13,0
Fraca	2114 ; 2115 ; 2124 ; 2125 ; 2134 ; 2135 ; 2214 ; 2224 ; 2234 ; 2314 ; 2315 ; 2324 ; 2325 ; 2334 ; 2335 ; 2344 ; 2415 ; 2424 ; 2425	Dc22 ; Dc32	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo ; Gleisolo ; Neosolo	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água ; Solo exposto	120 ; 130 ; 150	201.43	17,5
Média	3114 ; 3122 ; 3123 ; 3124 ; 3212 ; 3213 ; 3214 ; 3222 ; 3223 ; 3224 ; 3232 ; 3233 ; 3234 ; 3311 ; 3312 ; 3314 ; 3321 ; 3322 ; 3323 ; 3324 ; 3412 ; 3414 ; 3424	Dc33 ; Dc41 ; Dc42	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo ; Neosolo	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água	90 ; 100 ; 110 ; 120	149.38	13,0
Forte	4113 ; 4114 ; 4122 ; 4123 ; 4124 ; 4133 ; 4212 ; 4213 ; 4214 ; 4222 ; 4223 ; 4224 ; 4233 ; 4234 ; 4243 ; 4244 ; 4312 ; 4313 ; 4314 ; 4322 ; 4323 ; 4324 ; 4333 ; 4334 ; 4343 ; 4344 ; 4414	Dc43 ; Dc44	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo ; Gleisolo	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água ; Solo exposto ; Cava de mineração	100 ; 110 ; 120	188.98	16,4
Muito Forte	5113 ; 5114 ; 5115 ; 5121 ; 5122 ; 5123 ; 5124 ; 5125 ; 5134 ; 5135 ; 5213 ; 5223 ; 5224 ; 5313 ; 5314 ; 5321 ; 5322 ; 5323 ; 5324 ; 5325 ; 5344 ; 5414 ; 5422 ; 5423 ; 5424 ; 5425 ; 5434	Apf ; Da52 ; Da53 ; Dc53	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo ; Gleisolo ; Neosolo	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água ; Solo exposto ; Cava de mineração	60 ; 70 ; 90 ; 100 ; 110 ; 120 ; 130 ; 150	460.33	40,0

FIGURA 36: Carta de Fragilidade Ambiental, obtida a partir das combinações temáticas na escala 1:50.000.

QUADRO 21 : Agrupamentos contidos nos graus de fragilidade na escala 1:250.000na metodologia de Ross.

Grau de Fragilidade	Intervalo de Classe	Relevo	Solo	Uso	Clima	Área	
						Km²	%
Muito fraca	1111;1112;1113;1114;1121;1122; 1123;1124;1131;1132;1133;1134; 1211;1212;1214;1231;1232;1233; 1234;	Dt11	Latossolo ; Argissolo	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; Agricultura ; corpo d'água	60; 70; 90; 100; 110; 120	224,76	19,6
Fraca	2111;2112;2113;2114;2121;2122; 2123;2124;2131;2132;2133;2134; 2224;2234;2414;2434	Dc22	Latossolo ; Argissolo ; Neossolo	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; corpo d'água	90; 100; 110; 120	271,70	23,6
Média	3111;3112;3113;3114;3115;3121; 3122;3123;3124;3125;3131;3132; 3133;3134;3135;3211;3212;3213; 3214;3215;3221;3222;3225;3231; 3232;3233;3234;3235;3314;3315; 3334;3335;3414;3415;3434;3435	Dc32 ; Dc33	Latossolo ; Argissolo ; Neossolo, Cambissolo	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; Agricultura ; corpo d'água	90; 100; 110; 120; 130; 150	359,65	31,3
Forte	4114;4115;4124;4134;4135;4214; 4224;4234;4414	Dc43	Latossolo ; Argissolo ; Neossolo	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; Agricultura ; corpo d'água	120; 130	165,94	14,4
Muito Forte	5435;5434;5425;5415;5414;5334; 5332;5314;5312;5311;5231;5225; 5221;5215;5211;5134;5132;5131; 5124;5122;5121;5114;5112;5111	Dc53	Latossolo ; Argissolo ; Neossolo, Cambissolo	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada	90 ; 100; 120; 130; 150	126,96	11,0

8.2. A Vulnerabilidade do Solo na Metodologia de Crepani

Na metodologia desenvolvida por Crepani, a delimitação das Unidades Territoriais Básicas (UTBs) é feita a partir do processamento e interpretação de cores e texturas da imagem do satélite TM-LANDSAT que, posteriormente, recebe o conteúdo oriundo das informações temáticas.

A partir da avaliação individual de cada tema para determinar o grau de vulnerabilidade natural à perda do solo, foi adotado um modelo que avalia o estágio da evolução morfodinâmica das UTBs, atribuindo valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas, de forma a se construir uma “escala de vulnerabilidade” para situações que ocorram naturalmente.

Neste sentido, foram criadas classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores ao redor de 1,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0).

Este modelo foi aplicado individualmente aos temas (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Clima) que compõem cada UTB, e recebeu posteriormente um valor final, resultante da média aritmética dos valores individuais obtidos da equação abaixo. A aplicação desta equação busca representar a posição de cada unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à perda de solo.

$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$	<p>onde:</p> <p>V = Vulnerabilidade</p> <p>G = vulnerabilidade para o tema Geologia</p> <p>R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia</p> <p>S = vulnerabilidade para o tema Solos</p> <p>Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação</p> <p>C = vulnerabilidade para o tema Clima</p>
--------------------------------------	--

Devido ao fato desta metodologia apresentar como resultado uma vulnerabilidade decorrente da média aritmética da ponderação dos temas, as vulnerabilidades extremas (muita baixa e muito forte) são atenuadas, ou seja, uma área com alta vulnerabilidade para um dos temas poderá ser atenuada pela baixa vulnerabilidade de outro tema.

Sendo assim, a utilização da média aritmética entre as variáveis neste modelo pressupõe que todas elas possuem a mesma importância (peso) para estabelecer o grau e fragilidade das UTBs

Os Quadros 22 e 23 apresentam a ponderação de cada variável utilizada para estabelecer os intervalos de classe contigo nos agrupamento dos graus de vulnerabilidade, nas escalas 1:50.000 e 1:250.000, respectivamente.

As Figuras 38 e 39 apresentam os mapas de vulnerabilidade à perda do solo nas escalas 1:50.000 e 1:250.000, respectivamente, obtidos com base nas combinações apresentadas no Quadro 22 e 23.

QUADRO 22: Agrupamentos contidos nos graus de vulnerabilidade na escala 1:50.000 na metodologia de Crepani.

UTB	Relevo	Uso do Solo	Geologia	Clima	Solo	Média	Grau de Vulnerabilidade	Área	
								km²	%
U21	Dt11	Mata densa	24 abcd	70 ; 90	Latossolo	1	Muito Baixa	1,52	0,13
U20	*	*	*	*	*	1.1		*	*
U19	Dt11	Área urbana consolidada ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água ; Mata densa	24c ; 24 abcd ; 24d	60 ; 70 ; 90 ; 120	Latossolo	1.2		14,56	1,27
U18	Dc22 ; Dt11 ; Dt21	Mata densa ; corpo d'água; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Agricultura ; Área urbana consolidada	24a ; 24b ; 24c ; 24d ; 24abcd ; 27	90 ; 100 ; 120	Cambissolo ; Latossolo	1.3		9,47	0,82
U17	Apf ; Dt11 ; Dt21 ; Dc22 ; Dc32 ; Dc33 ; Dc53 .	Mata densa ; Agricultura ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada	1 ; 24a ; 24c ; 24d ; 24abcd ; 27 ; 42b ; 43a	90 ; 110 ; 120 ; 130	Argisolo ; Latossolo	1.4	Baixa	27,13	2,36
U16	Apf ; Dc22 ; Dc32 ; Dc33 ; Dc41 ; Dc42 ; Dc43 ; Dc44 ; Dc53 ; Dt11 ; Dt21	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água	21a ; 24a ; 24b ; 24c ; 24d ; 24abd ; 24acbd ; 27 ; 33a ; 42b ; 43a	90 ; 100 ; 110 ; 120 ; 130	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo	1.5		43,16	3,75
U15	Apf ; Dc22 ; Dc32 ; Dc33 ; Dc41 ; Dc42 ; Dc43 ; Dc44 ; Dc53 ; Dt11 ; Dt21	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água	1 ; 21a ; 21h ; 24a ; 24b ; 24c ; 24d ; 24acbd ; 27 ; 33a ; 41 ; 42b ; 43a ; 8	60 ; 70 ; 90 ; 100 ; 110 ; 120 ; 130	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo	1.6		94,26	8,19
U14	Apf ; Dc22 ; Dc32 ; Dc33 ; Dc41 ; Dc42 ; Dc43 ; Dc44 ; Dc53 ; Dt11 ; Dt21 ; Da52 ; Da53	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água	1 ; 21a ; 21h ; 22 ; 24a ; 24b ; 24c ; 24d ; 24abd ; 24acbd ; 27 ; 33a ; 34 ; 41 ; 42b ; 43a ; 43c ; 47 ; 8	90 ; 100 ; 110 ; 120 ; 130	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo	1.7	Média	115,27	10,02

UTB	Relevo	Uso do Solo	Geologia	Clima	Solo	Média	Grau de Vulnerabilidade	Área	
								km²	%
U13	Apf ; Dc22 ; Dc32 ; Dc33 ; Dc41 ; Dc42 ; Dc43 ; Dc44 ; Dc53 ; Dt11 ; Dt21 ; Da52 ; Da53	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água	1 ; 21a ; 21h ; 24a ; 24b ; 24c ; 24d ; 24abd ; 24acbd ; 27 ; 33a ; 38 ; 41 ; 42b ; 43a ; 43c ; 67b3 ; 73b ; 8	90 ; 100 ; 110 ; 120 ; 130 ; 150	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo ; Gleisolo ; Neosolo	1.8		160,34	13,94
U12	Apf ; Dc22 ; Dc32 ; Dc33 ; Dc41 ; Dc42 ; Dc43 ; Dc44 ; Dc53 ; Dt11 ; Dt21 ; Da52 ; Da54	Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água	1 ; 21a ; 22 ; 24b ; 24c ; 24d ; 24abd ; 24acbd ; 27 ; 30 ; 33a ; 24 ; 41 ; 42b ; 43a ; 43c ; 47 ; 67a1 ; 67b3 ; 8	70 ; 90 ; 100 ; 110 ; 120 ; 130	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo ; Gleisolo ; Neosolo	1.9		162,44	14,12
U11	Apf ; Dc22 ; Dc32 ; Dc41 ; Dc42 ; Dc43 ; Dc44 ; Dc53 ; Dt11 ; Da52 ; Da55	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água ; Solo exposto	1 ; 21a ; 21h ; 24a ; 24b ; 24c ; 24d ; 24abd ; 24acbd ; 27 ; 28 ; 33a ; 34 ; 38 ; 39 ; 41 ; 42b ; 43a ; 43b ; 43c ; 44 ; 63a ; 67a1 ; 67b3 ; 67c2 ; 70 ; 73b ; 8	60 ; 70 ; 90 ; 100 ; 110 ; 120 ; 130	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo ; Gleisolo ; Neosolo	2		203,05	17,65
U10	Apf ; Dc22 ; Dc32 ; Dc41 ; Dc42 ; Dc43 ; Dc44 ; Dc53 ; Da52 ; Da55	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água ; Solo exposto ; Cava de mineração	1 ; 21a ; 21h ; 22 ; 24b ; 24c ; 24d ; 24abd ; 24acbd ; 27 ; 30 ; 33a ; 34 ; 35b ; 38 ; 39 ; 41 ; 42a ; 42b ; 43a ; 43c ; 44 ; 67a1 ; 67b3 ; 67c2 ; 71b ; 73b ; 73d ; 8	90 ; 100 ; 110 ; 120 ; 130 ; 150	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo ; Gleisolo ; Neosolo	2.1	Alta	173,80	15,11
U9	Apf ; Dc32 ; Dc41 ; Dc42 ; Dc43 ; Dc44 ; Dc53 ; Da52 ; Da55	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ;	1 ; 21a ; 24b ; 24c ; 24abd ; 24acbd ; 27 ; 33a ; 34 ; 38 ; 39 ; 41 ; 42b ; 43a ; 43b ;	90 ; 100 ; 110 ; 120 ; 130 ; 150	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo ; Gleisolo ;	2.2		99,51	8,65

UTB	Relevo	Uso do Solo	Geologia	Clima	Solo	Média	Grau de Vulnerabilidade	Área	
								km²	%
		Solo exposto	43c ; 44; 63a ; 67a1 ; 67b3 ; 67c2 ; 8		Neosolo		Muito Alta		
U8	Apf ; Dc22 ; Dc43 ; Dc44 ; Dc53 ; Da52 ; Da53	Agricultura ; Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água ; Solo exposto ; Cava de mineração	1 ; 21a ; 22 ; 24acbd ; 27; 30 ; 33a ; 38 ; 39 ; 41 ; 42b ; 43a ; 44; 67a1 ; 67b3 ; 67c2 ; 71b ; 73b ; 73d ; 8	90 ; 100 ; 110 ; 120 ; 130 ; 150	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo ; Gleisolo ; Neosolo	2.3		24,01	2,09
U7	Apf ; Dc22 ; Dc41 ; Dc44 ; Dc53 ; Da52 ; Da53	Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; corpo d'água ; Solo exposto ; Cava de mineração	1 ; 21a ; 21h ; 24acbd ; 33a ; 34 ; 38 ; 41 ; 42b ; 43a ; 67a1 ; 67b3 ; 8	90 ; 100 ; 110 ; 120 ; 130	Argisolo ; Cambissolo ; Latossolo ; Gleisolo ; Neosolo	2.4		10,45	0,91
U6	Apf ; Dc44 ; Dc53 ; Da52 ; Da53	Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Solo exposto	1 ; 21h ; 22 ; 38 ; 42b ; 8	110 ; 120 ; 130	Argisolo ; Cambissolo ; Gleisolo ; Neosolo	2.5		3,66	0,32
U5	Apf ; Dc44 ; Dc53 ; Da52 ; Da53	Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Solo exposto	1 ; 42b ; 8	110 ; 120 ; 130 ; 150	Argisolo ; Cambissolo ; Gleisolo ; Neosolo	2.6		7,47	0,65
U4	apf	Área urbana consolidada ; Área urbana de baixo adensamento ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Solo exposto	1	120 ; 130	Gleisolo	2.7		0,18	0,02
U3	*	*	*	*	*	2.8		*	*
U2	*	*	*	*	*	2.9		*	*
U1	*	*	*	*	*	3		*	*

*Valor de média não obtido.

Figura 38: Carta de Vulnerabilidade à Perda do Solo, obtida a partir das combinações temáticas na escala 1:50.000

QUADRO 23: Agrupamentos contidos nos graus de vulnerabilidade na escala 1:250.000 na metodologia de Crepani.

UTB	Relevo	Uso do Solo	Geologia	Clima	Solo	Média	Grau de Vulnerabilidade	Área	
								Km²	%
U21	Dt11	Mata densa	24 abcd	70 ; 90	Latossolos	1	Muito baixa	3,01	0,26
U20	Dt11	Mata densa	24 abcd ; 47	90 ; 100	Latossolos	1.1		1,65	0,14
U19	Dt11 ; Dc22	Mata densa ; Área urbana consolidada; corpo d'água	24 abcd ; 41; 24c; 24d; 33a; 43a	60; 70; 90; 100; 110; 120	Latossolos ; Argissolo	1.2		18,08	1,57
U18	Dt11 ; Dc22; Dc32 ; Dc33	Mata densa ; Área urbana consolidada; corpo d'água	22; 30; 38; 41; 47; 24abcd, 24a, 24abd; 24b; 24c; 32a; 42b; 43a; 67a1, 67b3; 67c2; 73b	90; 100; 110; 120	Latossolos ; Argissolo	1.3		27,03	2,35
U17	Dt11 ; Dc22; Dc32 ; Dc33	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; Agricultura ; corpo d'água	1; 41; 24abcd; 24c; 24d; 33a;42b;43a; 43c67c2	60; 70; 90; 100; 110; 120	Latossolos ; Argissolo	1.4	Baixa	66,85	5,81
U16	Dt11 ; Dc22; Dc32 ; Dc33; Dc43;Dc53	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; Agricultura ; corpo d'água	1;27;30;34;38;39;41;44;47;21a;24a bcd;24a;24b;24c;33a;42b;43b;67b3 ;73b	90; 100; 110; 20; 130	Latossolos ; Argissolo	1.5		101,28	8,81
U15	Dt11 ; Dc22; Dc32 ; Dc33; Dc43; Dc53	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; Agricultura ; corpo d'água	1;8;27;41;21a;24abcd;24a;24abd; 24b;24d;33a;42b;43a;43c; 67a1; 67b3;67c2;73b	60; 70; 90; 100; 110; 120; 130	Latossolos ; Argissolo	1.6		190,44	16,56
U14	Dt11 ; Dc22; Dc32 ; Dc33; Dc53	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; Agricultura ; corpo d'água	1;8;22;27;30;38;39;41;44;47;70;21a ;24abcd;24a;24abd;24b;24c;33a42 b;43a;43b;63a;67a1;67b3;67c2;73b	90; 100; 110; 20; 130; 150	Latossolos ; Argissolo; Neossolo	1.7	Média	133,85	11,64
U13	Dt11 ; Dc22; Dc32 ;Dc33; Dc43; Dc53	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; Agricultura ; corpo d'água	1;8;27;28;38;39;41;44;70;21a;21h;2 4abcd;24abd;24b;24d;33a;42b; 43a;43c;67a1;67b3;67c2;71b;73b;7 3d	90; 100; 110; 120; 130	Latossolos ; Argissolo; Neossolo; Cambissolo	1.8		153,76	13,37
U12	Dt11 ; Dc22 ; Dc32 ; c33; Dc43; Dc53	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; Agricultura ; corpo d'água	1;8;27;30;34;38;39;41;44;21a;21h;2 4abcd;24a;33a;35b;42b;43a;43b;43 c;67a1;67b367c2;71b;73b	90; 100; 110; 20; 130; 150	Latossolos ; Argissolo; Neossolo; Cambissolo	1.9		149,02	12,96

UTB	Relevo	Uso do Solo	Geologia	Clima	Solo	Média	Grau de Vulnerabilidade	Área	
								Km²	%
U11	Dt11 ; Dc22; Dc32 ; Dc33; Dc43; Dc53	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; Agricultura ; corpo d'água	1;8;22;27;28;30;34;38;39;41;44;47; 70;21a;21h;24abcd;24a;24b;24c;24 d;33a;35b;42a;42b;43a;43b;43c;63 a;67a1;67b3;67c2;71b;73b;73d	60; 70; 90; 100; 110; 20; 130; 150	Latossolos ; Argissolo; Neossolo; Cambissolo	2		143,51	12,48
U10	Dc22 ; Dc32; Dc33; Dc43; Dc53	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada	1;8;22;27;30;38;39;41;44;24abcd;2 4a;33a35b42a;42b;43a;43c;63a;67 a1;67b3;67c2	90; 100; 110; 20; 130	Latossolos ; Argissolo; Neossolo; Cambissolo	2.1	Alta	104,86	9,12
U9	Dc22 ; Dc32; Dc33; Dc43; Dc53	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada ; Agricultura	1;8;27;41;44;21a;24abcd;24abd;24 b;42b;43a;43c;67b3;71b;73d	90; 120; 130; 150	Latossolos ; Argissolo; Neossolo; Cambissolo	2.2		36,56	3,18
U8	Dc33; Dc43; Dc53	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada	1;8;41;47;24abcd;42b;43a;67c2	90; 100; 120; 30; 150	Latossolos ; Argissolo; Neossolo; Cambissolo	2.3		15,54	1,35
U7	Dc33; Dc43; Dc53	Mata densa ; Pastagem com fragmentos de mata degradada ; Área urbana consolidada	1;27;21a;42b;43a;67a1;67b3	100; 20; 130; 150	Latossolos ; Argissolo; Neossolo; Cambissolo	2.4		1,68	0,15
U6	Dc22; Dc33; Dc43; Dc53	Pastagem com fragmentos de mata degradada	1;8;22;27;42b43a;67a1;67b3	120; 130	Argissolo; Neossolo; Cambissolo	2.5	Muito Alta	2,26	0,20
U5	Dc53	Pastagem com fragmentos de mata degradada	42b	150	Neossolo	2.6		0,38	0,03
U4	Dc33	Pastagem com fragmentos de mata degradada	1	130	Neosolo	2.7		0,17	0,01
U3	Dc53	Pastagem com fragmentos de mata degradada	1	120	Neosolo	2.8		0,26	0,02
U2	*	*	*	*	*	2.9			
U1	*	*	*	*	*	3			

*Valor de média não obtido.

Figura 39: Carta de Vulnerabilidade à Perda do Solo, obtida a partir das combinações temáticas na escala 1:250.000

8.3. Comparação

Frente ao exposto até o momento, o Quadro 24 apresenta uma síntese deste trabalho de acordo com os resultados obtidos perante as características de cada metodologia, pautados nos parâmetros de análise a seguir.

QUADRO 24: Síntese do trabalho.

Parâmetros	Ross		Crepani	
Análise	A variável da dissecação do relevo é mais expressiva para a determinação do grau de fragilidade, e as demais variáveis a hierarquizam.		A utilização da média aritmética entre as variáveis pressupõe que todas elas possuem a mesma importância (peso) para estabelecer o grau e fragilidade das UTBs.	
Cálculo	Apresenta como resultado uma fragilidade baseada na dissecação do relevo, mas que pode não refletir as características da área, pois nem sempre o relevo mais dissecado é o mais frágil, pois a fragilidade também depende de outras variáveis (tipo de rocha, clima, etc.).		Apresenta como resultado uma fragilidade decorrente da média aritmética da ponderação dos temas, fazendo com que as fragilidades extremas (muita fraca e muito forte) sejam atenuadas, ou seja, uma área com alta vulnerabilidade para um dos temas poderá ser atenuada pela baixa vulnerabilidade de outro tema.	
Escala de análise	A metodologia trabalha sobre a compartimentação da área de estudo baseada na matriz de dissecação do relevo, o que a torna mais aplicável em escalas regionais.		A metodologia trabalha sobre a compartimentação da área de estudo baseada na imagem de satélite, o que permite o trabalho em várias escalas.	
	1:50.000 - Maior detalhamento dos produtos	1:250.000 - Menor detalhamento dos produtos	1:50.000 - Maior detalhamento dos produtos	1:250.000 - Menor detalhamento dos produtos
Relevo	Maior densidade de drenagem, menores interflúvios, declividade e formas de relevo mais marcantes.	Menor densidade de drenagem, maiores interflúvios, declividade e formas de relevo mais suavizadas.	Maior densidade de drenagem, menores interflúvios, declividade e formas de relevo mais marcantes.	Menor densidade de drenagem, maiores interflúvios, declividade e formas de relevo mais suavizadas.
Solo	Menor incidência de solos profundos em função do detalhamento das curvas de nível e drenagem	Maior incidência de solos profundos em função da generalização das curvas de nível e drenagem	Menor incidência de solos profundos em função do detalhamento das curvas de nível e drenagem	Maior incidência de solos profundos em função da generalização das curvas de nível e drenagem
Uso do solo	Maior diversidade de classes de uso do solo, e limites mais precisos.	Menor diversidade de classes de uso do solo, e limites menos precisos.	Maior diversidade de classes de uso do solo, e limites mais precisos.	Menor diversidade de classes de uso do solo, e limites menos precisos.
Clima	Utilizou-se a mesma base em ambas as escalas devido a falta de critérios para generalização e/ou detalhamento dos ajustes na correlação espacial dos métodos de interpolação			

Parâmetros	Ross		Crepani	
Geologia	Utilizou-se a mesma base em ambas as escalas devido à carência de bases para o detalhamento das unidades geológicas	Não Utilizada *	Utilizou-se a mesma base em ambas as escalas devido a carência de bases para o detalhamento dos das unidades geológicas	Mapeamento de base utilizado na própria escala
Produto	O maior detalhamento das formas de relevo, implica em uma fragilidade ambiental mais forte, devido ao agrupamento dos graus de fragilidade ter o relevo como variável principal. Deste modo, as classes irão conduzir a uma fragilidade ambiental mais forte.	Uma vez suavizada as formas de relevo, a fragilidade ambiental será atenuada, devido ao agrupamento dos graus de fragilidade ter o relevo como variável principal. Deste modo, as classes irão conduzir a uma fragilidade ambiental mais fraca.	O maior grau de detalhamento das curvas de nível e densidade de drenagem aumenta os valores da ponderação quanto à estabilidade das variáveis a elas associadas. Essa diferença reflete no valor da média calculada para a determinação do grau de vulnerabilidade à perda do solo, de modo a torná-las mais altas.	O menor grau de detalhamento das curvas de nível e densidade de drenagem reduz os valores da ponderação quanto à estabilidade das variáveis a elas associadas. Essa diferença reflete no valor da média calculada para a determinação do grau de vulnerabilidade à perda do solo, de modo a torná-las mais baixas.

Org: Fagundes, 2012.

O efeito da variação de escala no modelo de fragilidade ambiental possui maior representatividade para o tema geomorfologia. Os temas pedologia, clima e uso do solo não sofrem alteração significativa, na medida em que ficam subjugados ao índice de dissecação do relevo.

Ou seja, devido ao fato do agrupamento dos graus de fragilidade considerar o primeiro dígito (relevo), esta variável é quem vai determinar o grau de fragilidade de cada área, e as demais variáveis irão definir uma hierarquização através de seus coeficientes de fragilidade.

Com a finalidade de comparar os dois produtos obtidos na metodologia de Ross, foram calculadas as áreas (km²) de cada classe, nas escalas 1:50.000 e 1:250.000. O resultado é apresentado no Quadro 25.

QUADRO 25: Extensão em Km² de cada classe na metodologia de Ross.

CLASSE	ÁREA KM ² - 1:50.000	% - 1:50.000	ÁREA KM ² - 1:250.000	% - 1:250.000
MUITO FRACA	149.31	13,0	224,7682	19,6
FRACA	201.43	17,5	271,7099	23,6
MÉDIA	149.38	13,0	359,659	31,3
FORTE	188.98	16,4	165,9463	14,4
MUITO FORTE	460.33	40,0	126,9682	11,0

O Gráfico 01 apresenta as área (km²) nas escalas 1:50.000 e 1:250.000, correspondente de cada classe na metodologia de Ross.

GRÁFICO 1: Extensão em Km² de cada classe na metodologia de Ross.

Nota-se que, de modo geral, a classe de fragilidade muito forte possui bastante representatividade (40% e 460,3 km²) na escala 1:50.000. Acredita-se que esta situação tenha ocorrido em função do grau de detalhamento da carta topográfica que permitiu a identificação de formas de relevo mais dissecadas. As demais classes não apresentaram variação significativa entre si, permanecendo em torno de 13 a 17%.

Já na escala 1:250.000 a classe de fragilidade média foi a que apresentou maior grau de incidência (31,3% e 359,7 km²), seguida das classes fraca e muito fraca (23,6% e 271,7 km² ; e 19,6%, e 224,8 km² respectivamente) e das classes forte e muito forte (14,4% e 165,9 km² ; e 11% e 127 km², respectivamente).

As regiões correspondentes à Serra do Japi e à jusante da bacia hidrográfica do rio Jundiá não apresentaram alteração do grau de fragilidade de acordo com a variação da escala.

Na região à jusante isso ocorreu por se tratarem de áreas com baixa densidade de drenagem e relevo pouco dissecado, fazendo com que as formas de relevo não apresentem elevada disparidade de identificação quando sujeitas à variação de escala de 1:50.000 e 1:250.000.

O mesmo princípio se aplica inversamente na região da Serra do Japi, pois por se tratarem de áreas com alta densidade de drenagem e relevo bastante dissecado, as formas de relevo não apresentam elevada disparidade de identificação quando sujeitas à variação de escala de 1:50.000 e 1:250.000.

Salienta-se que essa realidade não se repetiu na região de montante da bacia hidrográfica do rio Jundiaí, pois apesar de apresentarem características topográficas semelhantes, as curvas de nível e densidade de drenagem não possuem a mesma concentração quando comparadas à Serra do Japi na escala 1:250.000.

Deste modo, a região de montante da bacia hidrográfica do rio Jundiaí foi a que apresentou maior efeito de variação de escala nas cartas de fragilidade. Na escala 1:50.000 a região possui fragilidade muito forte e forte, enquanto na escala 1:250.000 apresenta fragilidade média.

Isso se dá em função da redução do grau de detalhamento, com menor densidade de drenagem e maiores interflúvios, fazendo com que as formas de relevo sejam suavizadas. Uma vez suavizada as formas de relevo, a fragilidade ambiental será atenuada, devido ao agrupamento dos graus de fragilidade ter o relevo como variável principal.

Outra região que apresentou maior efeito de variação de escala foram as áreas associadas às planícies fluviais. Na escala 1:50.000 essas áreas possuem fragilidade muito forte devido sua sujeição a inundações periódicas, entretanto na escala 1:250.000 esta forma de relevo não foi representada, devido à generalização ocorrida no ajuste do tema geomorfologia ao utilizar as curvas de nível e padrão de drenagem na escala 1:250.000 como suporte.

Com relação à metodologia de Crepani foram calculadas as áreas (km²) e % de cada classe, nas escalas 1:50.000 e 1:250.000, com a finalidade de comparar os dois produtos obtidos. O resultado é apresentado no Quadro 26.

QUADRO 26: Extensão em Km² de cada classe na metodologia de Crepani.

CLASSE	ÁREA KM ² - 1:50.000	% - 1:50.000	ÁREA KM ² - 1:250.000	% - 1:250.000
MUITO BAIXA	25,54	2,2	49,48	4,3
BAIXA	164,55	14,3	358,46	31,2
MÉDIA	641,10	55,7	580,13	50,5
ALTA	307,76	26,8	158,62	13,8
MUITO ALTA	11,32	1,0	3,07	0,3

O Gráfico 02 apresenta as área (km²) nas escalas 1:50.000 e 1:250.000, correspondente de cada classe na metodologia de Crepani.

GRÁFICO 2 : Extensão em Km² de cada classe na metodologia de Crepani.

Na escala 1:50.000, a classe de vulnerabilidade à perda do solo que apresentou maior grau de incidência foi a média (55,7% e 641,1 km² %), seguida da alta (26,8% e 307,8 km²), baixa (14,3% e 164,6 km²), muito baixa (2,5% e 25,5 km²) e muito alta (1% e 11,3 km²).

Na escala 1:250.000, a classe de vulnerabilidade à perda do solo que apresentou maior grau de incidência também foi a média (50,5% e 580,1 km² %), seguida da baixa (31,2% e 358,5 km²), alta (13,8% e 158,6 km²), muito baixa (4,3% e 49,5 km²) e muito alta (0,3% e 3,1 km²).

Percebe-se que, independentemente da escala, as duas cartas de vulnerabilidade à perda do solo apresentam os valores extremos atenuados, e o valor mediano preponderante. Acredita-se que isto se deve à forma de cálculo desta metodologia ser realizada com base nas médias dos temas.

A região central, bem como a montante da bacia hidrográfica do rio Jundiáí, apresentam resultados consideravelmente distintos de vulnerabilidade à perda do solo em relação à variação de escala 1:50.000 e 1:250.000. Na primeira, as classes predominantes são média e forte, enquanto na segunda são média e baixa.

Acredita-se que os principais responsáveis por esta diferença foram as formas de relevo e os solos, visto que ambos os temas foram adaptados com base nas cartas topográficas 1:50.000 e 1:250.000.

Tendo em vista que em função do menor grau de detalhamento das curvas de nível e densidade de drenagem na escala 1:250.000 quando comparadas a 1:50.000, as formas de relevo, declividade e os tipos de solos à elas associados possuem valores reduzidos de ponderação quanto à estabilidade, sendo mais brandos na escala 1:250.000 e mais marcantes na escala 1:50.000. Essa diferença reflete no valor da média calculada para a determinação do grau de vulnerabilidade à perda do solo.

A região da Serra do Japi, bem como à jusante da bacia hidrográfica do rio Jundiáí, apresenta resultados consideravelmente semelhantes de vulnerabilidade à perda do solo em relação à variação de escala, com predominância da classe forte na primeira, e média e baixa na segunda.

Em ambas as escalas os temas não apresentam variação representativa na região da Serra do Japi, se mantendo como uma área em que há o predomínio da cobertura vegetal sustentada por um relevo acidentado com solos rasos. O mesmo acontece na porção a jusante da bacia onde, em ambas as escalas, o relevo é mais suave, as declividades são amenas, o padrão de drenagem é menos denso e os solos são mais profundos.

Com a finalidade de comparar as áreas correspondentes a cada classe em ambas as metodologias, nas escalas 1:50.000 e 1:250.000, foram elaborados os Gráficos 03 e 04.

GRÁFICO 3: Comparação entre as áreas (km²) correspondentes a cada classe em ambas as metodologias na escala 1:50.000

GRÁFICO 4: Comparação entre as áreas (km²) correspondentes a cada classe em ambas as metodologias na escala 1:250.000

Na escala 1:50.000 as classes que apresentaram maior divergência foram a média - com 55,7% (641,1km²) em Crepani e 13% (149,4 km²) em Ross - e muito forte / muito alta – com 1% (11,3 km²) em Crepani e 40% (460,3 km²) em Ross.

Na escala 1:250.000 os resultados também foram divergentes, ainda que em menor proporção quando comparados à escala 1:50.000. A principal classe que apresentou maior divergência também foi a média – com 50,5% (580,0 km²) em Crepani e 31,3% (359,7 km²) em Ross – seguida da muito fraca / muito baixa – com 4,3% (49,5 km²) em Crepani e 19,6% (224,8 km²) em Ross.

De modo geral, nota-se que as classes na escala 1: 50.000 são mais divergentes entre si quando comparadas as classes na escala 1:250.000. Isso se deve ao maior detalhamento das bases utilizadas para a confecção dos mapas na escala 1:50.000.

Com relação à localização, nota-se que o efeito da variação de escala em cada uma das metodologias apresentou como resultado as principais divergências situadas à montante e na porção central da bacia hidrográfica do rio Jundiá, e as principais semelhanças localizadas na Serra do Japi e a jusante da bacia.

O Quadro 27 e Gráfico 05 apresentam a comparação entre as áreas onde houve semelhança e divergência (km²), correspondentes à distribuição espacial de cada classe, em ambas as metodologias.

QUADRO 27: Extensão em Km² de cada classe na metodologia de Crepani.

Situação	1:250.000		1:50.000	
	Área km ²	%	Área km ²	%
Diferença	729,0	63,4	967,4	84,1
Semelhança	421,2	36,6	183,3	15,9

GRÁFICO 5: Comparação entre os modelos de Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade à Perda do Solo

Nota-se que a comparação entre as metodologias na escala 1:250.000 apresentou um percentual maior de semelhança (36,6% e 421,0 km²), quando comparada a escala 1:50.000 (15,9% e 183,3 km²).

De modo geral, independentemente da escala, as duas metodologias divergem bastante entre si, sendo que na escala 1:50.000 essa diferença alcança a porcentagem de 84,1% (967,4 km²), enquanto que na escala 1:250.000 a porcentagem é de 63,4% (729,0 km²).

Esta diferença de resultado em função da variação da escala se deu devido à generalização dos dados na escala 1:250.000, na qual a maior equidistância das curvas de nível, a menor densidade de drenagem e interflúvios, amenizam a declividade ao mesmo tempo em que possibilitam a interpretação de formas de relevo mais suavizadas e solos mais desenvolvidos.

O detalhamento classificatório das áreas agrupadas é diretamente proporcional à escala das bases disponíveis, deste modo, quanto maior a escala das variáveis utilizadas, maior será a diferença entre os mapas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade à perda do solo. A recíproca também é verdadeira, na medida em que quanto menor for a escala, maior será a semelhança entre os produtos.

Este resultado reforça a ideia de Racine *et al.* (1983) de que “A tendência à homogeneidade cresce na razão inversa da escala”.

As Figuras 40 e 41 apresentam a comparação entre as áreas semelhantes e diferentes correspondentes a cada classe em ambas as metodologias, nas escalas 1:50.000 e 1:250.000, respectivamente.

FIGURA 41: Comparação entre a carta de fragilidade ambiental e a de vulnerabilidade à perda do solo na escala 1:250.000

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O principal objetivo deste trabalho foi realizar um estudo comparativo sobre o efeito da variação de escala (1:50.000 e 1:250.000) nas metodologias desenvolvidas por ROSS (1994) e por CREPANI (2001), na geração de cartas de Fragilidade Ambiental e de Vulnerabilidade Natural à Perda do Solo.

Os critérios de escolha da bacia hidrográfica do rio Jundiaí como área de verificação desta variação de escala foram: a disponibilidade de dados; a proximidade da cidade de São Paulo para ida a campo; e as características geográficas relativas à diversidade quanto a dissecação do relevo e densidade de drenagem, visto que ambas as metodologias de estudo são aplicáveis em áreas com variação de relevo.

Para a viabilização deste trabalho foi necessário comparar as formas de análise e cálculo de cada metodologia contidas nos parâmetros de avaliação adotados na ponderação/ classificação de cada tema perante a variação de escala.

Essas bases temáticas são produtos cartográficos intermediários que, por sua vez, correspondem à base para a elaboração da Carta de Fragilidade Ambiental e a de Vulnerabilidade à Perda do Solo, sendo eles: mapa hipsométrico; carta clinográfica; mapa geomorfológico; mapa pedológico; mapa geológico; dados climáticos; e carta de uso do solo.

O principal problema desta pesquisa foi a carência de bases temáticas compatíveis com as escalas de análise. Para contorná-lo, foram necessárias adequações de alguns temas.

Os mapas pedológico e geomorfológico sofreram ajustes geométricos das classes baseados nas curvas de nível, padrão de drenagem e, principalmente, na declividade.

Para o mapa geológico utilizou-se a mesma base em ambas as escalas devido a carência de dados para o detalhamento das unidades geológicas.

Para o mapa de clima utilizou-se a mesma base em ambas as escalas devido a falta de critérios para generalização e/ou detalhamento dos ajustes na correlação espacial dos métodos de interpolação.

Para a confecção do mapa de uso e ocupação na escala 1:250.000 foram realizadas generalizações com base no tom do pixel, de modo que não foi possível interpretar algumas classes de uso (cavas de mineração e solo exposto), como também realizar a distinção do grau de adensamento urbano.

Na metodologia de Ross, a variável Índice de Dissecação do Relevo (1º dígito) é a mais expressiva, de modo a determinar o índice de fragilidade de cada área, sendo que as demais variáveis irão definir o grau de hierarquização das mesmas.

Entretanto, o fato do agrupamento dos graus de fragilidade considerarem o primeiro dígito (relevo), o produto final se assemelha bastante com o tema geomorfologia, sendo que esta variável é quem vai determinar o grau de fragilidade de cada área, e as demais variáveis irão definir uma hierarquização através de seus coeficientes de fragilidade.

Sendo assim, este modelo apresenta como resultado uma fragilidade baseada na dissecação do relevo, mas que pode não refletir as características da área, pois nem sempre o relevo mais dissecado é o mais frágil, pois a fragilidade também depende de outras variáveis (tipo de rocha, clima, etc.).

O efeito da variação de escala nesta metodologia teve como implicação principal a redução do grau de detalhamento dos produtos na escala 1:250.000 quando comparadas as 1:50.000, de modo que a primeira apresente menor densidade de drenagem, maiores interflúvios, declividade e formas de relevo mais suavizadas.

Uma vez suavizadas as formas de relevo, a fragilidade ambiental será atenuada, devido ao agrupamento dos graus de fragilidade ter o relevo como variável principal. Deste modo, as classes forte e muito forte são mais expressivas na escala 1:50.000, enquanto as classes fraca e muito fraca aparecem com maior frequência na escala 1:250.000.

Na metodologia de Crepani a vulnerabilidade à perda do solo é decorrente da média aritmética da ponderação dos temas, de modo que as vulnerabilidades extremas (muita baixa e muito forte) são atenuadas. Ou seja, uma área com alta vulnerabilidade para um dos temas poderá ser atenuada pela baixa vulnerabilidade de outro tema, de modo a mascarar a realidade.

Sendo assim, a utilização da média aritmética entre as variáveis neste modelo pressupõe que todas elas possuem a mesma importância (peso) para estabelecer o grau e fragilidade das UTBs.

Percebe-se que, independentemente da escala, as duas cartas de vulnerabilidade à perda do solo apresentam os valores extremos atenuados, e o valor mediano preponderante. Isto se deve a forma de cálculo desta metodologia ser realizada com base nas médias dos temas.

Acredita-se que a diferença obtida pelo efeito da variação de escala nesta metodologia possui como principais responsáveis as formas de relevo e os solos, visto que ambos os temas foram adaptados com base nas cartas topográficas 1:50.000 e 1:250.000.

Tendo em vista que em função do menor grau de detalhamento das curvas de nível e densidade de drenagem na escala 1:250.000, quando comparadas a 1:50.000, as formas de relevo, declividade e os tipos de solos a elas associados possuem valores reduzidos de ponderação quanto à estabilidade, sendo mais brandos na escala 1:250.000 e mais marcantes na escala 1:50.000.

Essa diferença reflete no valor da média calculada para a determinação do grau de vulnerabilidade à perda do solo. Deste modo, as classes alta e muito alta são mais expressivas na escala 1:50.000, enquanto as classes baixa e muito baixa aparecem com maior frequência na escala 1:250.000.

Resumidamente, conclui-se que Crepani atenua os valores extremos e acentua os valores intermediários, enquanto Ross atenua os valores intermediários e acentua os extremos.

Outra conclusão importante obtida nesta pesquisa foi que em ambas as metodologias o detalhamento classificatório das áreas agrupadas é diretamente proporcional à escala das bases disponíveis.

Deste modo, quanto maior a escala das variáveis utilizadas, maior será a diferença entre os mapas de fragilidade ambiental e vulnerabilidade à perda do solo. A recíproca também é verdadeira, na medida em que quanto menor for a escala, maior será a semelhança entre os produtos.

Esta conclusão reforça a ideia da heterogeneidade do conteúdo na escala grande e, com a redução da escala, os dois produtos se aproximam, refletindo a tendência à homogeneidade na escala pequena.

Como continuidade desta pesquisa acredita-se na possibilidade de seleção de áreas piloto para a verificação e validação dos resultados e conclusões obtidas, de modo a incrementar e corroborar este estudo.

Por fim, espera-se que esta pesquisa comparativa auxilie na interpretação dos diferentes resultados que a variação de escala pode apresentar na geração das cartas de fragilidade ambiental e de vulnerabilidade natural à perda do solo. E que também possa gerar contribuição para os estudos que buscam um mecanismo de planejamento, gerenciamento e manejo com a finalidade de aliar a proteção e conservação dos bens naturais ao desenvolvimento econômico e social.

10. BIBLIOGRAFIA

- AGUIAR**, M. de J.N.; SOUSA NETO, N.C. de; BRAGA, C.C.; BRITO, J.I.B. de; SILVA, E.D.V.; SILVA, F.B.R.; BURGOS, N.; VAREJÃO-SILVA, M.A.; COSTA, C.A.R. da. - Zoneamento pedoclimático para a cultura do cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) no Nordeste do Brasil e Norte de Minas Gerais. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical / Recife: Embrapa-CNPS- ERP-NE, 2000. 30p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de Pesquisa, 27).
- AMARAL**, R. – Unidades Ecodinâmicas: Análise da Fragilidade Ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e Entorno, Teodoro Sampaio/SP. 2005. 170f. (Dissertação de Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia / FFLCH - Universidade de São Paulo. São Paulo.
- AMARAL**, R.; ROSS J.L.S - As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. GEOUSP- Espaço e Tempo, São Paulo, nº26, pp.59-78. 2009
- BECKER**,B. EGLER,C.A.G – Detalhamento da metodologia para execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal. Brasília. SAE- Secretaria de assuntos estratégicos/MMA- Ministério do Meio Ambiente. 1996.
- BERTONI**, J. ; LOMBARDI NETO, F. – Conservação do Solo. São Paulo. Editora Ícone, 2010 – 7ª Edição.
- BERTRAND**, G.- Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Caderno de Ciências da Terra, 13. São Paulo: IGEO/USP, 1971.
- BISSONAI**S, Y - Características do Solo e Estabilidade dos Agregados. Soil Survey Staff Of France, National Institute For Agronomic Research, Orleans, France, 1996
- BOTELHO**, R.G.M. – Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. In GUERRA, A.J.T; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (orgs). Erosão e conservação dos solos – conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.
- CALIJURI**, M. L.; ALVES, J. E. M.; BAPTISTA, A. C.; SANTIAGO, A. F.; LOURES, S. S. P. Proposta metodológica para geração da carta de fragilidade ambiental, utilizando lógica fuzzy e combinação linear ponderada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., Florianópolis, Abril de 2007. São José dos Campos: INPE, 2007. p.3311 – 3318.
- CÂMARA**,G.; MEDEIROS,J,S. – Geoprocessamento para projetos ambientais. In. Introdução a ciência da Geoinformação. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais /INPE. 2001.
- CÂMARA**, G.; FELGUEIRAS, C.A. - Modelagem Numérica de Terreno. In. Introdução à Ciência da Geoinformação. Org. CAMARA, G.; DAVIS, C. ; MONTEIRO, A.M.V. Divisão de Processamento de Imagens - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. DPI- INPE. 2001.
- CÂMARA**, G.; MONTEIRO, A.M.V. - Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In. Introdução à Ciência da Geoinformação. Org. CAMARA,

- G.; DAVIS, C. ; MONTEIRO, A.M.V. Divisão de Processamento de Imagens DPI- INPE. 2001.
- CÂMARA, G.; CORDEIRO, J.P. ; BARBOSA, C.C.F.** - Álgebra de campos e objetos. In. Introdução à Ciência da Geoinformação. Org. CAMARA, G.; DAVIS, C. ; MONTEIRO, A.M.V. Divisão de Processamento de Imagens DPI- INPE. 2001.
- CANIL, K.** - Processos Erosivos e Planejamento Urbano: Carta de Risco de Erosão das Áreas Urbana e Periurbana do Município de Franca, SP. Dissertação de Mestrado em Geografia Física. – Departamento de Geografia / FFLCH - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2000.
- CAPEL, H.-** Filosofia e ciência na geografia contemporânea: uma introdução à geografia. Volume I. Organizado por Jorge Guerra Villalobos. Maringá: Massoni, 2008.
- CARDOSO, D.; RIEDEL, P.S; VEDOVELLO, R. ; BROLLO, M.J; TOMINAGA, L.K** - Compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe, litoral de São Paulo- uma abordagem metodológica como subsídio à avaliação geotécnica de terrenos.
- CETESB** - Bacia 13 - Jundiaí. Diagnóstico da Poluição Ambiental no Interior do Estado de São Paulo. São Paulo: Cetesb, 1994. p. 53-76.
- CHRISTOFOLETTI, A** – Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos e planejamento. In Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Org GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 6º edição. 2005.
- CHRISTOFOLETTI, A** – Modelagem de Sistemas Ambientais. Ed Edgard Ltda. São Paulo, 1999. p. 3-42.
- COELHO NETTO, A.L.** – Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Org GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 6º edição. 2005.
- CPRM** - Serviço Geológico do Brasil - Projeto Integração Geológico-Metalogenética. Carta Geológica. SF.23.YC. Escala 1:250.000. 1999.
- CREPANI, E; GOMES, A. R.; CARVALHO, V.C; MEDEIROS, J.S** - Aplicação da metodologia ZEE para a análise da vulnerabilidade à perda do solo em ambiente semi árido. Anais XII Simpósio Brasileiro de sensoriamento remoto. Goiania. 2005.
- CREPANI, E; MEDEIROS, J.S; FILHO, P.H; FLORENZANO, T.G; DUARTE, V; BARBOSA, C.C.F** – Sensoriamento remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, 2001.
- CROSTA, A.P.** – Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Instituto de geociências. Departamento de Metalogênese e Geoquímica. IG/UNICAMP. Campinas. 1992.
- CUNHA, S.B ; GUERRA, A.J.T (org)** - Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações. Bertrand Brasil. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2002

- DAEE** - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA - Mapa Geológico do Estado de São Paulo. Convênio Universidade Estadual Paulista (UNESP). Escala 1:250.000. 1984
- DANTAS**, A.- Monbeig e a noção de Complexo Geográfico. *Confins* [Online], 7 | 2009, posto online em 31 outubro 2009. Consultado em 16 junho 2011. Disponível eletronicamente em <<http://confins.revues.org/6091>>
- DE BIASI**, M - A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. Departamento de geografia. FFLCH, 1992
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro, 2006. p. 306
- EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial. Campinas, 2009. Disponível em < <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/>>. Acessado em 05/03/2012.
- ESRI**. ArcGis 9.3. Copuright © ESRI Inc.
- FADINI**, A.A.B. - Impactos do uso das terras na bacia hidrográfica do rio Jundiá (SP). Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, 1998
- FRANCISCO, A. B.** - As Escalas de Análise na Geografia dos Estudos Ambientais. Revista Formação Online, n. 18, Volume 2, p. 39-62 , jul./dez., 2011
- FBDS** - Fundação Brasileira Para o Desenvolvimento Sustentável - Disponível eletronicamente em <http://www.fbds.org.br/rubrique.php3?id_rubrique=17>. Acessado em 26/09/2011
- GUERRA**, A.J.T. – Processos erosivos nas encostas. In Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Org GUERRA,A.J.T; CUNHA,S.B. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 6º edição.2005.
- GUERRA**, A.J.T ; **SILVA**, A.S ; **BOTELHO**, R.G.M (orgs) - Erosão de conservação de solos: Conceitos, Temas e Aplicações. Bertrand Brasil. Rio de Janeiro, 1999. 340p.
- GOODCHILD**, M. - Geographical data modeling. In Computers & Geosciences, Volume 18: 401-408p. 1992.
- HERMUCHE**, P. M.; **GUIMARÃES**, R. F.; **CARVALHO**, A. P. F.; **MARTINS**, E. S.; **DRUCK**, S.; **CARVALHO JÚNIOR**, O. A.; **SANTOS**, N. B. F.; **REATTO**, A. Morfometria como suporte para elaboração de mapas pedológicos: I. Bacias hidrográficas assimétricas. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002.
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cartas Topográficas, Indaiatuba (SF-23-Y-C-II-2); Jundiá (SF-23-Y-C-III-1); Santana de Parnaíba (SF-23-Y-C-III-3); Cabreúva (SF-23-Y-C-II-4); Salto (SF-23-Y-C-II-1); Guarulhos (SF-23-Y-C-III-4) e Atibaia (SF-23-Y-C-III-2). 1:50.000. 1981.
- IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Carta Topográfica. Folha São Paulo (SF-23-Y-C), escala 1:250.000. 1983.
- INPE** - INSITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Image Catalog. INPE, 2009. Disponível em: <www.dgi.inpe.br>. Acesso em 11/01/2012

- IPT** - Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo. 1981.
- IWASA**, O.Y ; FENDRICH, R: Controle da erosão urbana. In: Geologia de Engenharia. ABGE. São Paulo. 1998.
- JUNIOR**, A.V.I ; BAYER,C ; CONCEIÇÃO,P.C ; BOENI,M ; SALTON, J.C ; TONIN,A.T - Variáveis relacionadas à estabilidade de complexos orgânicos minerais em solos tropicais e subtropicais brasileiros. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Ciência Natural Santa Maria, V.37, n.5, p.1301-1307, setembro 2007.
- KAWAKUBO**, F.S; MORATO, R.G; CAMPOS, K.C; LUCHIARI, A; ROSS, J.L.S - Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. p.2203-2210. Goiânia, 2005.
- KÖRTING**, T. S. - Classificação de Imagens por Regiões. INPE. São José dos Campos, 2006.
- LEPSCH**, Igo F.- Formação e conservação dos solos - São Paulo. Oficina de Textos, 2002.
- MACHADO**, C. R. L. – Aplicação e comparação de metodologias na análise ambiental do Trecho Leste do Rodoviário Metropolitano de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Geografia Física – FFLCH, Universidade de São Paulo. 2011.
- MANFRÉ**, L. A.- Fragilidade ambiental e qualidade dos solos em duas bacias hidrográficas de uso rural em Ibiúna, SP/ Dissertação de mestrado defendida na UNESP, 2011.
- MANFRÉ**, L. A.; URBAN, R. C.; SILVA, A. M.- Modelo de fragilidade ambiental como subsídio para o planejamento de bacias com diferentes características. In Geografia / Associação de Geografia Teórica. – Vol.36, Edição especial. Rio Claro-SP. 2011.
- MELLO**, J.P ; VITTE, A.C - Determinação da fragilidade ambiental na bacia do rio verde, região nordeste do Estado de São Paulo, Brasil. Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança. Territorium v.16. P.79-98. 2009
- MELLO**, J.P ; VITTE, A.C - Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas consequências na morfogênese das vertentes: Um balanço bibliográfico. Climatologia e Estudos da Paisagem. Rio Claro - Vol.2. p. 107- 2007
- MMA** - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – Zoneamento Ecológico Econômico. Disponível eletronicamente em <<http://www.mma.gov.br/sitio>> Acesso em 15/02/2012
- MOSS**, M. R. - Landscape synthesis, landscape processes and land classification, some theoretical and methodological issues. In GeoJournal, Volume 07, nº02, 1983. Canadá. Disponível eletronicamente em <<http://www.springerlink.com>>. Acessado em 08/08/2011.

- MONTEIRO**, C.A.F - Geossistemas: A história de uma procura. Org. e Rev. ROCHA, Y.T, ROSS, J.L.S, CAVLHEIRO,F, COLTRINARI,L. São Paulo. Contexto/GeoUsp. 127p (Novas abordagens,3). 2000.
- MORAES**, J. F. L. et al. Diagnóstico Agroambiental para Gestão e Monitoramento da Bacia do Rio Jundiá Mirim. Instituto Agrônomo, Campinas, 2002. (Relatório Final - Projeto FAPESP).
- MORAES**, J. F. L. et al. Elaboração do Plano Municipal de Gerenciamento Ambiental e Gestão Municipal dos recursos hídricos no município de Campo Limpo Paulista. Instituto Agrônomo, Campinas, 2012. 168p. (Relatório Final - FEHIDRO).
- MOREIRA**, C.V.R ; NETO, A.G.P – Clima e relevo. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), cap. 5, 1998.
- MÜHLETHALER**, B.; RAMOS, V. M.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; BETTIOL, G. M.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; REATTO, A. Avaliação do uso da morfometria como suporte para a elaboração de mapa pedológico na bacia do Ribeirão da Pedreira – DF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., Goiânia, Abril de 2005. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3197 – 3174. Disponível em: <marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/12.06.14.17/doc/3167.pdf>.
- NAMIKAWA**, L.M. Um método de ajuste de superfície para grades triangulares considerando linhas características. Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada - INPE, São José dos Campos, 1995.
- NEVES, M. A** – Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na bacia do rio Jundiá. 2005
- OLIVEIRA**, J. B. de; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B.; Mapa Pedológico do Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999.
- OLIVEIRA**, J. B. de; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B.; Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: Legenda Expandida. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999.
- PRADO**,H – Solos tropicais: potencialidades, limitações, manejo e capacidade de uso. 2.ed. ver e ampliada. Jaboticabal. Funesp, 1998. 231p.
- RACINE**, J.B.; RAFFESTIN, C.; RUFFY, V - . Escala e ação, contribuições para uma interpretação do mecanismo de escala na prática da Geografia. Revista Brasileira de Geografia, v.45, n.1, p.123-135. 1983.
- RODRIGUES**, C- A Teoria Geossitêmica e sua Contribuição aos Estudos Geográficos e Ambientais. Revista do Departamento de Geografia, nº14. São Paulo. 2001
- ROSS**, J.L.S - O Registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. São Paulo. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas - FFLCH - Revista do Departamento de Geografia nº 06. 1992.

- ROSS, J.L.S** - Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. São Paulo. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas - FFLCH - Revista do Departamento de Geografia nº 08. 1994.
- ROSS, J.L.S** - Análises e síntese na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. São Paulo. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas - FFLCH - Revista do Departamento de Geografia nº 09. 1995.
- ROSS, J.L.S; MOROZ, I.C** - Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas - FFLCH - Revista do Departamento de Geografia nº 10. 1997.
- ROSS, J.L.S; PRETTE, M.E.** - Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: Ancoras do planejamento de gestão ambiental. São Paulo. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas - FFLCH - Revista do Departamento de Geografia nº 12. 1998.
- ROSS, J.L.S; AMARAL, R.; FIERZ, M.S.M** - Da ecodinâmica à fragilidade ambiental: Subsídios ao planejamento e gestão ambiental. In America Latina: Sociedade e Meio Ambiente. São Paulo. Expressão Popular. 2008
- SÃO PAULO** (Estado). Secretaria do Meio Ambiente. Atlas das Unidades de Conservação Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo, 2000b. 64p, 16 mapas.
- SMA** - Secretária do Meio Ambiente - Caderno de Gestão de Processos para a Elaboração do Zoneamento Ecológico - Econômico. São Paulo. 02/08/2010.
- SMA** - Secretária do Meio Ambiente - Zoneamento Ecológico-Econômico - Litoral Norte de São Paulo. Coordenadoria de Planejamento Ambiental Estratégico e Educação Ambiental. - São Paulo: SMA/CPLEA. 2005.
- SILVA, J.X-** Geomorfologia e geoprocessamento. In Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. Org GUERRA, A.J.T; CUNHA, S.B. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil. 6ª edição. 2005
- SILVA, I. C. O.; CABRAL, J. B. P.; SCOPEL, I.** Mapeamento da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego da Onça, Jataí (GO), utilizando técnicas de geoprocessamento. Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí, UFG, n. 11, jul./dez., 2008. Disponível em: <www.jatai.ufg.br/ojs/index.php/geoambiente/article/viewFile/566/284>. Acesso em: 31 out. 2011.
- SIMIELLI, M.E.R** - Variação espacial da capacidade de uso da terra. Um ensaio metodológico de cartografia temática, aplicado ao município de Jundiá – SP. Dissertação e estrado apresentada ao Departamento de Geografia da FFLCH da USP. 1978.
- SOTCHAWA, V.B** - Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre. São Paulo. Revista IG-USO, nº 14. 1978
- SPORL, C; ROSS, J.L.S** - Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. São Paulo. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas - FFLCH - Espaço e Tempo. 2004.
- SPORL, C-** Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas altas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do

Quartel e Ribeirão da Prata. Dissertação de Mestrado. São Paulo. Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas - FFLCH - 2001.

SIGRH - Sistema de Informações para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo . Banco de dados pluviométricos do estado de São Paulo. Disponível eletronicamente em <www.sigrh.sp.gov.br>

TRICART.J.- Ecodinâmica. Rio de Janeiro. IBGE/Supren, 1977.

VEDOVELLO, R ; NATTOS, J.T - Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - Aplicação em expansão urbana. In Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 1993

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. - Mapeamento geotécnico: uma proposta metodológica. Geociências, São Paulo, v. 9. 1990.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. - Cartografia Geotécnica. São Paulo: Oficina de Texto, 2004. v. 1. 500 p.