

# Caracterização da Fragilidade Ambiental Utilizando Sistema de Informações Geográficas

Geiza Coutinho Figueiredo <sup>1</sup>  
Alessandra Lopes Braga <sup>2</sup>  
Flávio Henrique Eloi <sup>3</sup>  
Alessandro Salles Carvalho <sup>4</sup>  
Profa. Dra. Maria Lúcia Calijuri <sup>5</sup>

UFV – Depto. de Engenharia Civil  
Informações Espaciais  
36570-000 Viçosa-MG  
<sup>1</sup> geizacf@hotmail.com  
<sup>2</sup> alessandralb@hotmail.com  
<sup>3</sup> flavioeloi@hotmail.com  
<sup>4</sup> ascufv@hotmail.com  
<sup>5</sup> calijuri@ufv.br

**Resumo:** O mapa de fragilidade ambiental tem sido muito utilizado pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental. O mapeamento da fragilidade ambiental permite avaliar as potencialidades do meio ambiente combinando suas características naturais com suas restrições. O objetivo deste trabalho consistiu em mapear a fragilidade ambiental em níveis de erosão utilizando técnicas de Geoprocessamento, como Modelagem Digital do Terreno (MDT), Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A partir do MDT foram geradas cartas derivadas que auxiliaram na elaboração dos produtos intermediários. Os dados de SR foram utilizados para a confecção do mapa de uso e cobertura vegetal e através do SIG utilizou-se da lógica nebulosa (*fuzzy*) para processo de tomada de decisão.

**Palavras chaves:** SIG, Análise Multi-Critério, Lógica Nebulosa.

**Abstract:** The map of environmental fragility has been a lot used by the public agency in the elaboration of the environmental territorial planning. The mapping of the environmental fragility allows to evaluate the potentialities of the environment combining their natural characteristics with their restrictions. The objective of this work consisted of mapping the environmental fragility in erosion levels using Geoprocessing techniques, as Digital Terrain Model (DTM), Remote Sensing (RS) and Geographical Information Systems (GIS). Starting from DTM were generated maps derived that they aided in the elaboration of the intermediate products. The data of RS were used for the making of the use and vegetable covering map and through GIS it was used of the hazy logic (*fuzzy*) for process of taking of decision.

**Keywords:** GIS, Analysis Muticriteria, Hazy Logic.

## 1 Introdução

No último século o Estado de São Paulo sofreu severas mudanças ambientais, intensificadas nas últimas décadas, devido ao crescente desenvolvimento urbano, industrial e aumento populacional. O desmatamento, a poluição, a degradação dos solos e a exploração irrestrita dos recursos naturais têm trazido diversos impactos ao meio ambiente.

O mapa de fragilidade ambiental constitui uma das principais ferramentas utilizadas pelos órgãos públicos na elaboração do planejamento territorial ambiental. O mapeamento da fragilidade ambiental permite avaliar as potencialidades do meio ambiente combinando suas características naturais com suas restrições.

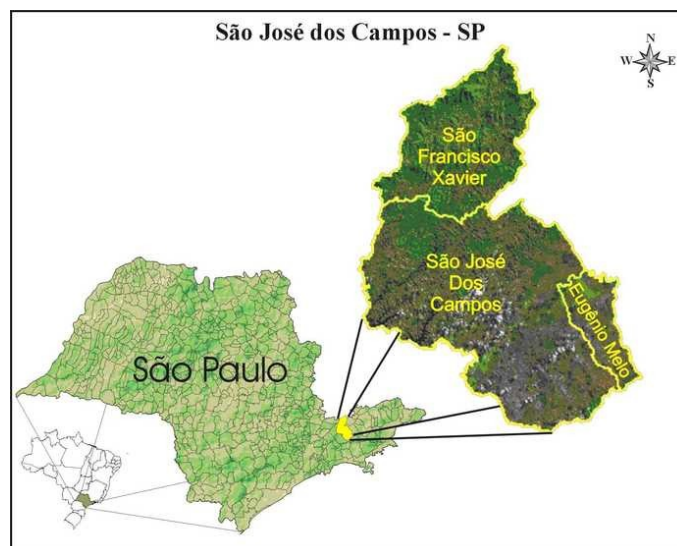
O reconhecimento das formas de utilização da terra é fundamental para o planejamento, podendo direcionar a uma política de ocupação do espaço com a intenção de manter e melhorar as condições de vida atual e futura.

O mapeamento das fragilidades agrupa os ambientes em relação aos diferentes níveis de fragilidade. Tais informações permitem ao planejador elaborar ações de intervenção técnica, adequadas a cada condição.

Diante dos diferentes estados de equilíbrio e desequilíbrio que o ambiente está submetido, Ross (1994) sistematizou uma hierarquia nominal de fragilidade representada por códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5). Estas categorias expressam especialmente a fragilidade do ambiente em relação aos processos ocasionado pelo escoamento superficial difuso e concentrado das águas pluviais.

Para auxiliar na análise do produto final, a caracterização da fragilidade ambiental exige a execução de inúmeros planos de informação. O objetivo deste trabalho consistiu em mapear a fragilidade ambiental em níveis de erosão utilizando técnicas de Geoprocessamento, como Modelagem Digital do Terreno (MDT), Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). A partir do MNT foram geradas cartas derivadas que auxiliaram na elaboração dos produtos intermediários. Os dados de SR foram utilizados para a confecção do mapa de uso e cobertura vegetal e através do SIG utilizou-se da lógica nebulosa (*fuzzy*) para processo de tomada de decisão.

## 2 Área de Estudo



**Figura 1** : Localização de São José dos Campos e seus Distritos

A área de estudo é o Município de São José dos Campos (Figura 1), situado à sudeste do Estado de São Paulo possuindo uma área equivalente a 110.698,9757 ha. O Município está delimitado pelo seguinte retângulo envolvente:

Coordenadas Geográficas:

- Canto superior direito: 22°48'55" S, 45°43'17" W;
- Canto inferior esquerdo: 23°18'22" S, 46°06'35" W.

### 3 Materiais

A Prefeitura Municipal de São José dos Campos disponibilizou o banco de dados geográfico "Cidade Viva" na escala 1:50.000, contendo: drenagem; rede viária; altimetria; limite municipal; carta geotécnica; uso do solo; mapeamento urbano básico (MUB); zoneamento e áreas de preservação ambiental (APA).

O *software* utilizado para a implementação da base de dados foi o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas - SPRING, versão 4.1 (Câmara et al., 1996) e para o processamento foi utilizado o *software Idrisi Kilimanjaro*® (Clark Labs, 1987-2004). A partir da base cartográfica implementada em ambiente SIG, foram derivados os mapas temáticos que representam os fatores do modelo *Fuzzy*.

## 4 Metodologia

### 4.1 Modelagem do Banco de dados

O desenvolvimento de estudos acerca da possibilidade de erosão exige a análise de vários fatores, tais como: natureza geotécnica, morfologia, cursos de drenagem naturais, uso e ocupação do solo. Para este trabalho foram selecionadas quatro categorias passíveis de serem implementadas, são elas: altimetria, hidrografia, carta geotécnica e uso e ocupação do solo.

A altimetria é um recurso bastante útil para representação de como se comporta altimetricamente a superfície da área de estudo. Elas foram obtidas através da compilação das categorias de interesse de cartas topográficas digitais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Através da manipulação da base altimétrica foi possível obter um modelo de rede irregular de triângulos (TIN) e a partir deste gerar o modelo numérico do terreno (MNT), que representa a cota associada a cada ponto contido na área de interesse. A partir do MNT gerou-se um dos mais importantes elementos da análise, a carta de declividades.

A hidrografia é composta por todos os elementos da região que são constituídos por água, podendo ser linhas de drenagem, açudes, barragens, lagos, lagoas, oceanos. Esses dados foram obtidos com base nas cartas topográficas do IBGE.

A carta geotécnica apresentada no trabalho refere-se ao tratamento do dado a partir dos estudos elaborados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1996).

O uso do solo também é um fator importante no estudo de áreas propensas à erosão, pois a utilização e o tipo de cultivo influenciam na suscetibilidade do solo. Este mapa foi obtido a partir de uma classificação feita em uma imagem Landsat do ano de 2001.

Foram estabelecidas cinco classes de fragilidade variando de Muito Fraca (5) a Muito Forte (1). As tabelas 1, 2 e 3 descrevem a fragilidade do ambiente em relação aos fatores declividade, aspecto geotécnico e uso do solo respectivamente.

Tabela 1 - Classes de fragilidade das declividades

Fragilidade	Categorias hierárquicas	Código
Muito fraca	até 6%	5
Fraca	de 6 a 12%	4
Média	de 12 a 20%	3
Forte	de 20 a 30%	2
Muito forte	acima de 30%	1

Tabela 2 - Classes de Fragilidade de Natureza Geotécnica

Fragilidade	Categorias hierárquicas	Código
Alta	Aluvião Arenoso	2
Muito Baixa	Aluvião Argiloso	5
Muito Alta	Colinas e Morrotes em sedimentos arenosos	1
Média	Colinas e Morrotes embasamento cristalino	3
Muito Baixa	Colinas e Morrotes em sedimentos de argila arenosa	5
Média	Colinas e Morrotes em sedimento de argila expansiva	3
Média	Morrotes com substratos de migmatita gnais xisto filito	3
Baixa	Morrotes com substratos de rochas graníticas	4
Média	Montanhas e escarpas	3
Média	Planície aluvionar	3
Alta	Terraços fluviais	2

Tabela 3 - Classes de Uso de Solo

Fragilidade	Categorias hierárquicas	Código
Muito fraca	Reflorestamento	5
Média	Agricultura	3
Fraca	Mata ou capoeira	4
Fraca	Área urbanizada	4
Média	Pastagem	3

#### 4.2 Padronização dos Fatores

Para este trabalho foi utilizado o conceito probabilístico *fuzzy* onde todos os fatores são reescalados segundo uma escala contínua no que se refere a sua aptidão, uma vez que esta escala varia de menos apta (0), até mais apta (255). Os fatores utilizados na análise foram: carta de declividade, carta geotécnica, uso do solo, áreas rural e de expansão urbana, drenagem, áreas de preservação ambiental (APA), ferrovias, rodovias, área urbana e mapeamento urbano básico (MUB).

Cada fator foi classificado com base na sua categoria hierárquica de contribuição à erosão. A partir desta categorização foi feita uma distribuição de importância numa escala de 0 a 255:

- Fator declividade (Figura 2): quanto maior a declividade maior o risco, segundo o Quadro 1;
- Carta geotécnica (Figura 3): de acordo com o Quadro 2 foi reescalado segundo sua aptidão;
- Uso do solo (Figura 4): de acordo com o Quadro 3 também foi reescalado;
- Área rural de expansão urbana (Figura 5): receberam um alto grau de adequabilidade a erosão partindo de uma reclassificação, devido o solo ser menos impermeável;
- Drenagem (Figura 6): utilizou-se uma função linear decrescente (0 a 300 metros), pois quanto mais próximo maior o risco;
- APA (Figura 7): por não oferecer grandes riscos adotou-se um risco médio;
- Rodovias (Figura 8): utilizou-se uma função sigmoideal decrescente (0 a 200 metros), pois quanto mais próximo maior o risco;
- Ferrovias (Figura 9): utilizou-se uma função sigmoideal decrescente (0 a 80 metros), pois quanto mais próximo maior o risco;
- Urbanização (Figura 10): pelo fato das áreas urbanizadas possuírem certo grau de impermeabilização, adotou-se um risco médio a partir de uma reclassificação;
- MUB (Figura 11): utilizou-se uma função linear decrescente (0 a 100 metros), pois quanto mais próximo maior o risco.

O mapeamento urbano básico, as ferrovias e as rodovias também foram considerados como restrições devido o fato desses planos de informação serem praticamente impermeabilizados não oferecendo riscos de erosão.

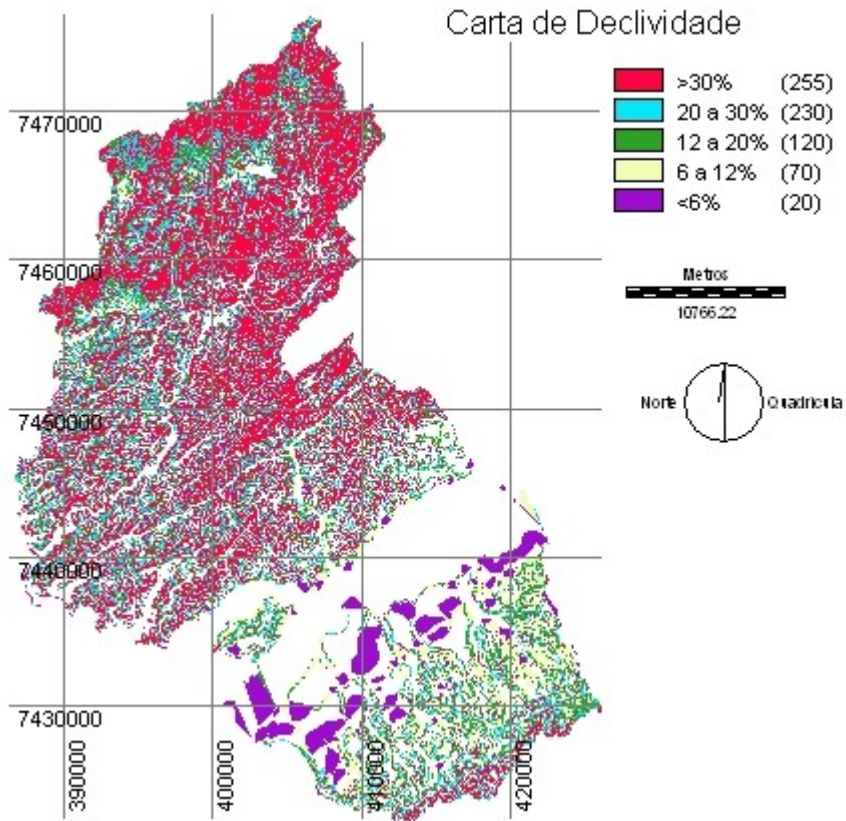


Figura 2 : Fator declividade

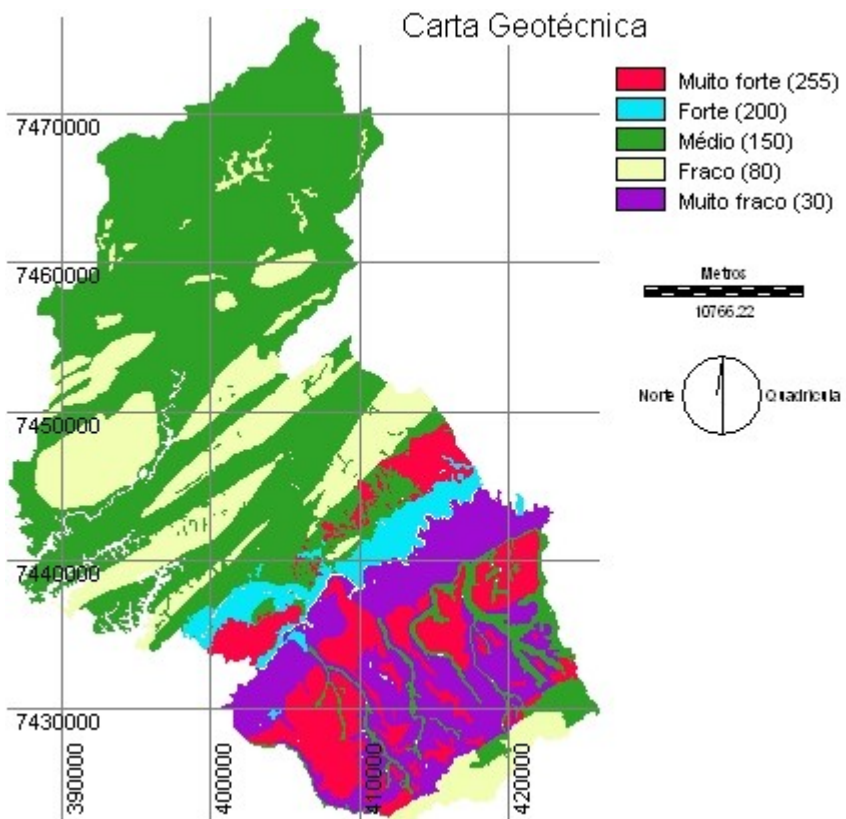


Figura 3 : Fator geotécnico

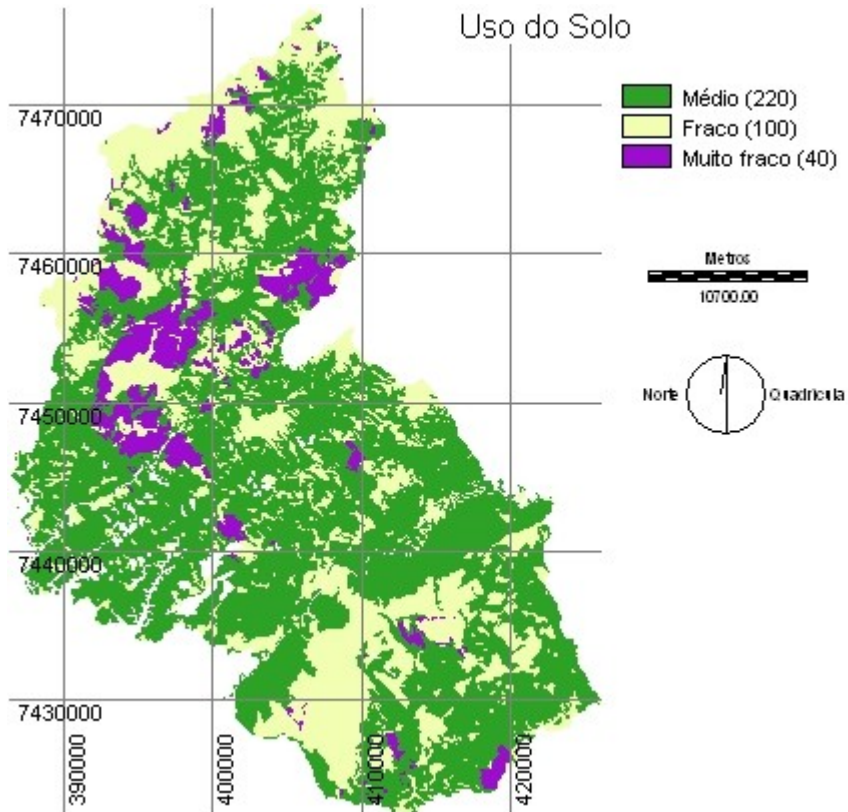


Figura 4 : Fator uso do solo

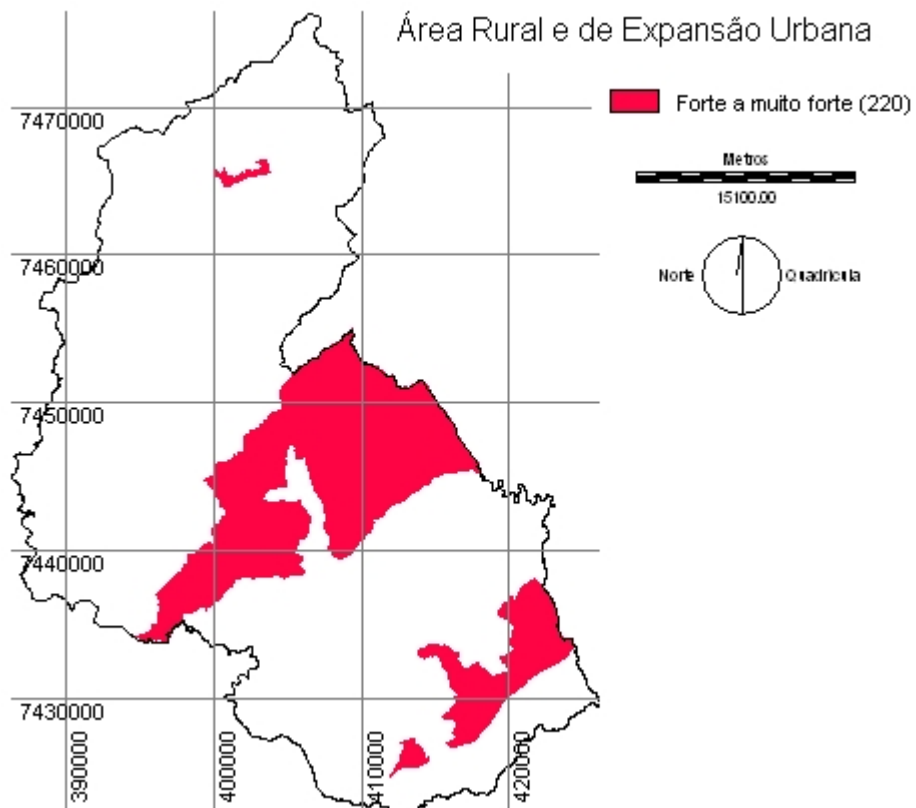


Figura 5 : Fator área rural e de expansão urbana.

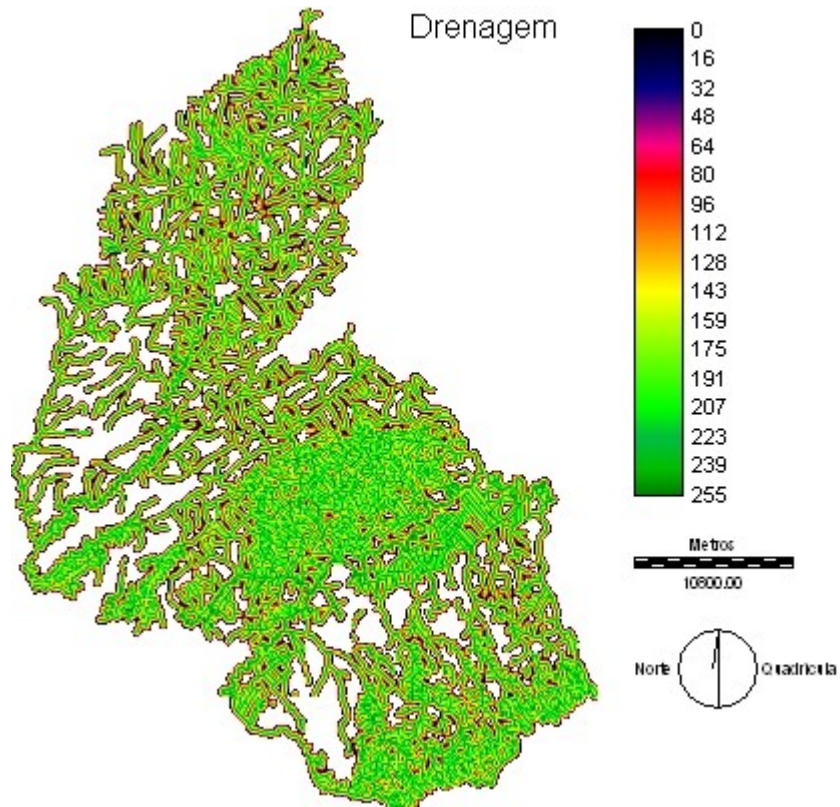


Figura 6 : Fator drenagem

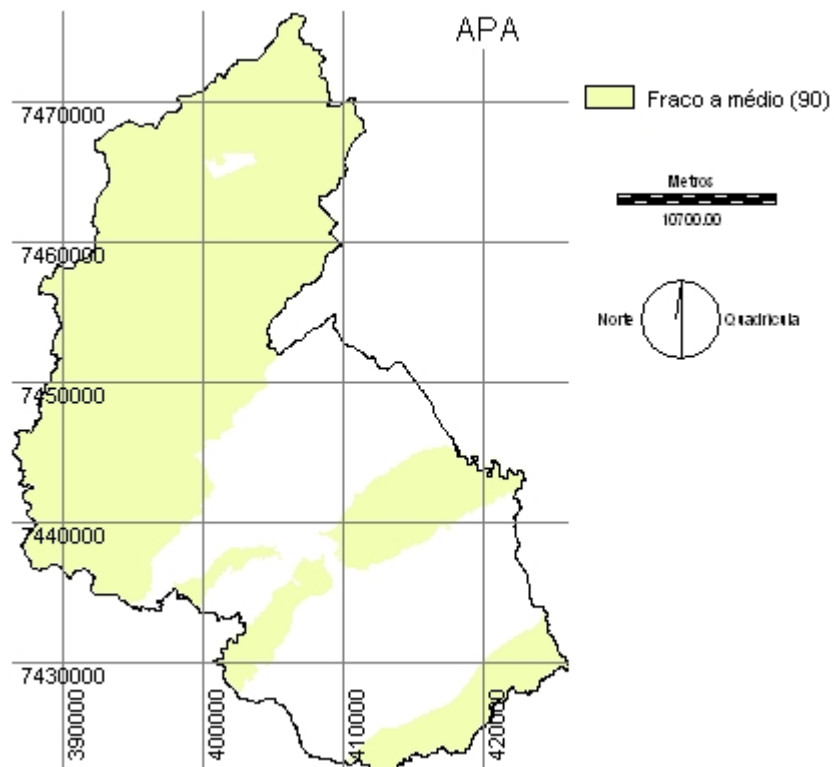


Figura 7 : Fator área de preservação ambiental

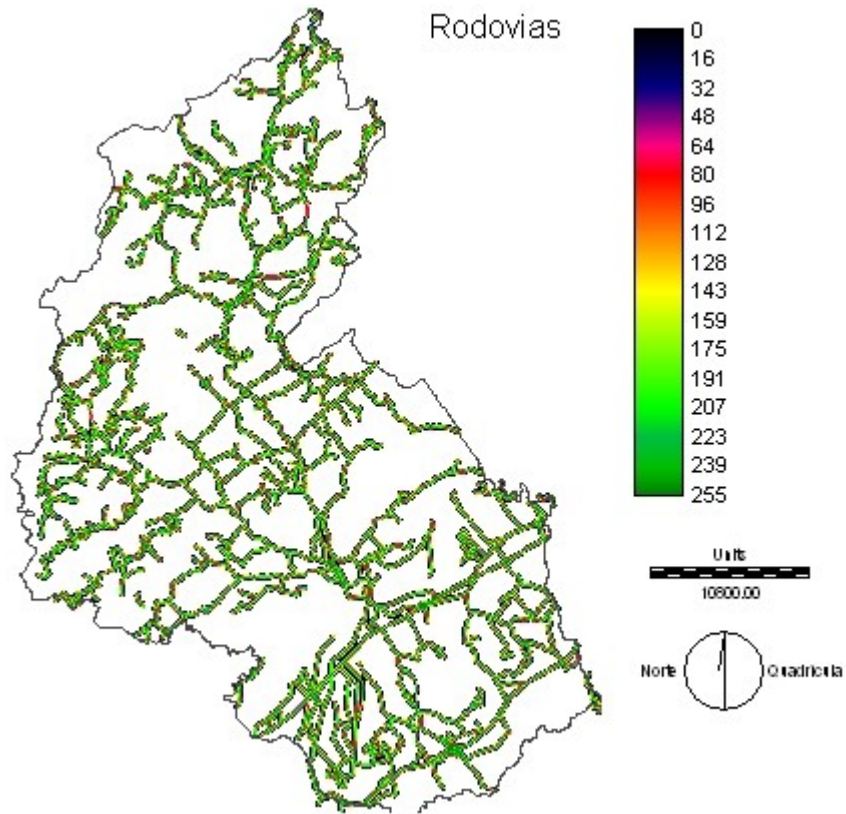


Figura 8 : Fator rodovias

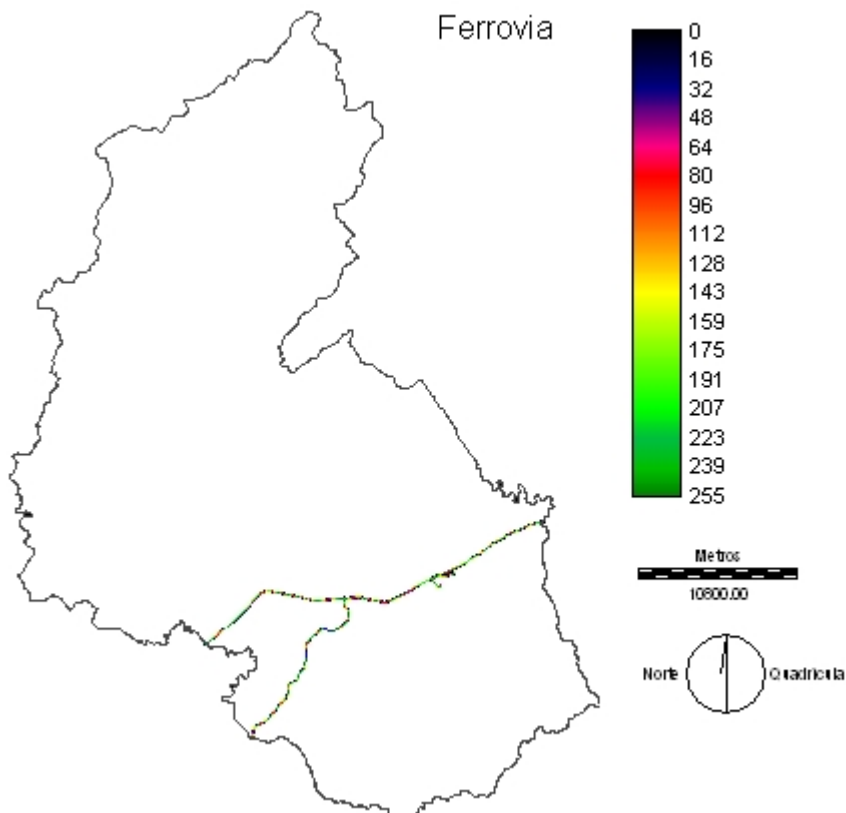


Figura 9 : Fator ferrovias

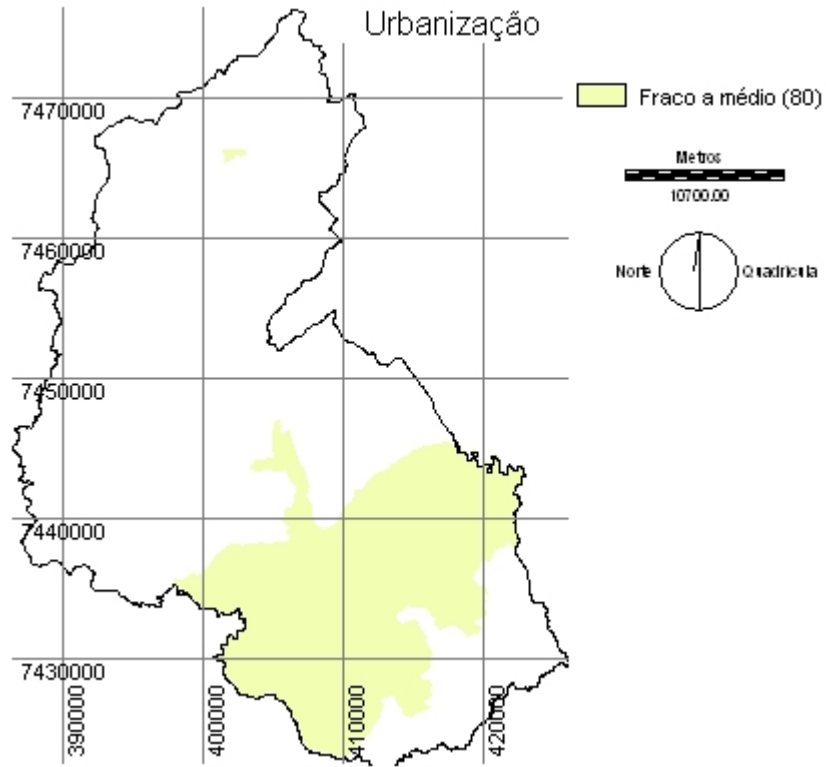


Figura 10 : Fator urbanização

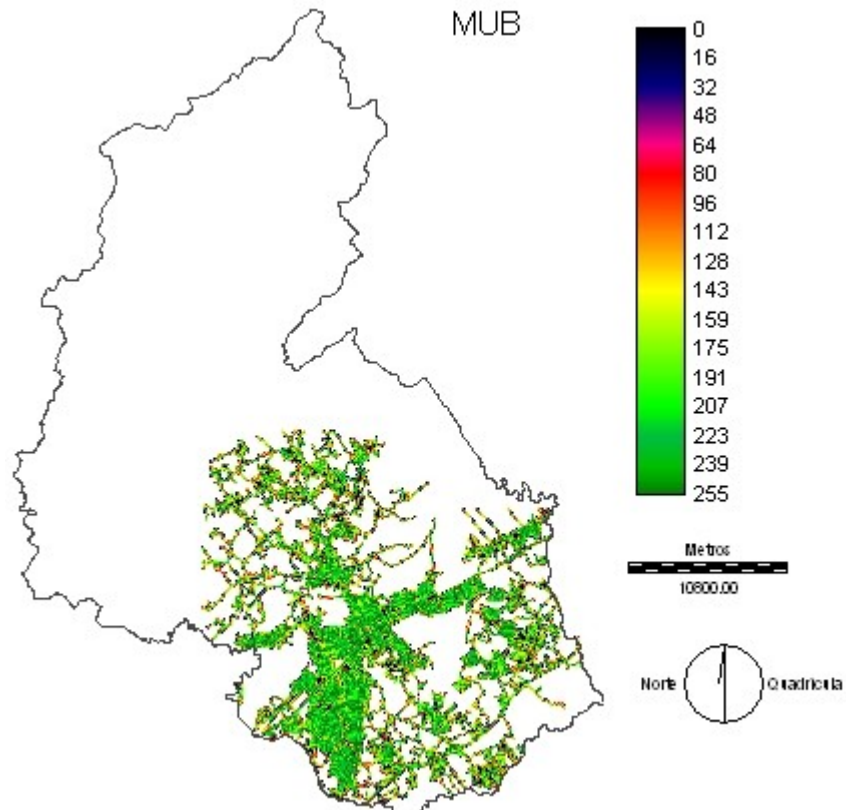


Figura 11 : Fator mapeamento urbano básico

### 4.3 Análise Multi-Critério (MCE)

A análise multi-critério é uma ferramenta importante como suporte à tomada de decisão. As decisões podem ser auxiliadas por ferramentas de SIG porque envolvem uma variedade de critérios que podem ser representados como *layers* de dados geográficos.

O módulo *Weight* é usado para desenvolver um conjunto de pesos relativos para um grupo de fatores em MCE. Os pesos são desenvolvidos por uma série de comparação de pares, de importância relativa de cada um dos fatores à adequabilidade do objetivo que está sendo avaliado. Estas comparações de pares são analisadas produzindo um conjunto de pesos que somam um. Os fatores e seus pesos resultantes são usados no módulo MCE (*multi criteria evaluation*) para Combinação Linear Ponderada (WLC) e Média Ponderada Ordenada (OWA).

Utilizou-se a OWA, aplicando aos fatores um segundo conjunto de pesos. Isto permite controlar o nível total de compensação entre fatores e o nível de risco na análise. Obteve-se assim um mapa com compensação e risco moderados. Para o cálculo do risco e compensação na análise em questão utilizou-se as seguintes fórmulas (Eastman et al, 1998):

$$Risco = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (n-i) \cdot O_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$Compensação = 1 - \sqrt{\frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \left(O_i - \frac{1}{n}\right)^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

Onde:  $O_i$ : peso ordenado;  
 $i$ : posição do peso ordenado;  
 $n$ : número de fatores.

## 5 Resultados

A análise MCE, conforme observado na Figura 12, deu origem a um mapa bastante fragmentado, com o domínio de forte e médio risco à erosão. A zona urbana, onde se esperava um baixo risco, apresentou regiões com tendência a risco médio.

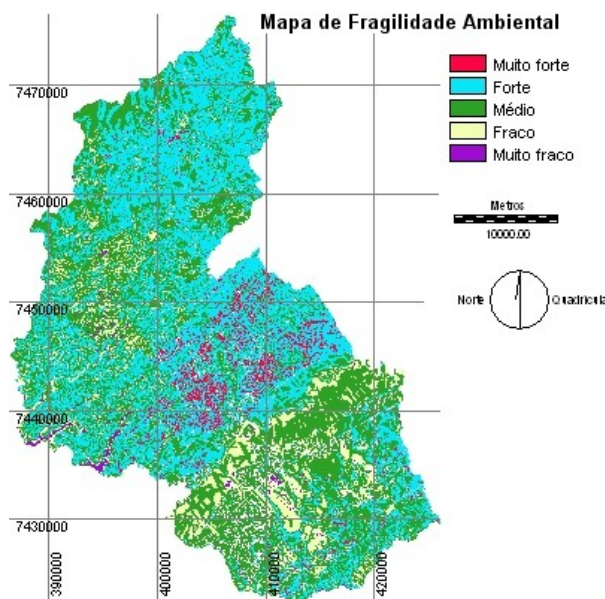


Figura 12 : Mapa de Fragilidade Ambiental - Risco à Erosão

Optou-se por utilizar a OWA justamente por oferecer o controle sobre o risco e a compensação através de um conjunto de pesos ordenados para diferentes posições, ordenadas, de fatores a cada localização. Os pesos modificam primeiro o grau em que os fatores influenciam o processo de agregação e, então governam o nível total de compensação, o que não é possível ser obtido em uma análise WLC. Os pesos ordenados que foram utilizados na OWA são apresentados na Tabela 4, gerando uma análise menos conservadora.

**Tabela 4** - Pesos ordenados da OWA.

Peso	Peso 1	Peso 2	Peso 3	Peso 4	Peso 5	Peso 6	Peso 7	Peso 8	Peso 9	Peso 10
	0,055	0,065	0,070	0,085	0,095	0,115	0,120	0,125	0,130	0,140

De acordo com as fórmulas (1) e (2) atingiu-se um risco de médio (Risco = 0,41) e uma alta compensação (Compensação = 0,91).

## 6 Considerações Finais

O processo de zoneamento ambiental a partir da fragilidade do meio ambiente natural permite organizar e avaliar a ocupação humana, bem como a intensidade de exploração. No processo de tomada de decisão, a lógica *Fuzzy*, comparando com as operações *booleanas*, supera tecnicamente o processo de interseção de informações espaciais de mesma ordem de grandeza. A grande vantagem reside na possibilidade de avaliar o espaço geográfico continuamente, e não através de limites rígidos, como em conjuntos de dados estáticos.

Infelizmente no Brasil as escalas de trabalho bem como os mapeamentos existentes ainda são muito restritos. Não se trabalha com o ideal e sim com o possível. De qualquer forma os resultados encontrados são perfeitamente válidos como uma análise preliminar. Trabalhos de campo e informações em escalas maiores são necessárias para as fases de projeto e intervenção.

## 7 Referências Bibliográficas

- CALIJURI, M. L.; LORENTZ, J. F.:** *Análise Multi-Critério*. Apostila da disciplina CIV 637 – Sitemas de Informação Geográfica. Viçosa, 2003, p. 76
- CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS U. M.; GARRIDO, J. C. P.:** *SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling*. *Computers and Graphics*, v.15, n.6, p.13-22, 1996.
- EASTMAN, J.R.:** *IDRISI for Windows*. Clark University, Worcester, 1997.
- EASTMAN, J. R.; JIANG, H.; TOLEDANO, J.:** *Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS*. In: Beint, E.; Nijkamp, P (Eds), *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 227-251. 1998.
- IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1996).:** *Carta Geotécnica do Município de São José dos Campos*. Publicado no CD "Cidade Viva" da Prefeitura Municipal de São José dos Campos, 2001.
- KAWAKUBO, F. S.:** *Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento*. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2203-2210.
- OLIVEIRA, O. O. et.al.:** *Uso De Técnicas de Geoprocessamento para Identificar Áreas Susceptíveis ao Escorregamento na Região de Campos dos Goytacazes – RJ*. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3191-3198.
- ROSS, J. L. S.:** *Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados*. Revista do Departamento de Geografia. n.8, p.63-74. 1994.
- SPÖRL, 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 apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geografia Física. São Paulo, 2001.