



---

## **MODELAGEM NUMÉRICA DO TERRENO E INTEGRAÇÃO DE DADOS AMBIENTAIS PARA O ESTUDO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL**

Fernando Shinji Kawakubo<sup>1</sup>, Rúbia Gomes Morato<sup>1</sup>, Kleber Cavaça Campos<sup>2</sup>, Ailton Luchiarini<sup>1</sup> e  
Jurandyr Luciano Sanches Ross<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geografia - FFLCH/USP

Av. Prof. Lineu Prestes, 338 – Cidade Universitária – São Paulo – SP – CEP 05508-000

<sup>2</sup> Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental – IGC/USP

Rua do Lago, 562 - Cidade Universitária – São Paulo – SP - CEP 05508-080

### **RESUMO**

Este trabalho descreve especialmente a utilização de Modelos Numéricos do Terreno (MNT) para o estudo da fragilidade ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** MNT, Derivações Cartográficas, Álgebra de Campo, Fragilidade Ambiental, Integração de Dados.

**EIXO TEMÁTICO:** Análise e Diagnóstico de Processos Erosivos

### **INTRODUÇÃO**

Os Modelos Numéricos do Terreno, ou simplesmente MNT, são representações gráficas de superfície muito utilizadas para expressar as variações contínuas. Essas variações são representadas por eixos x,y que fornecem a posição espacial da superfície e pelo eixo z que guarda os valores do atributo analisado.

Existem atualmente, na literatura, várias terminologias que são empregadas com a mesma finalidade do MNT. É o caso por exemplo dos DTM (Digital Terrain Model), DGM (Digital Ground Model) e DHM (Digital Height Model).

Os motivos das variações das terminologias estão relacionadas tanto a dimensão que os MNTs possuem em relação as suas aplicações (diversidade de usuários) quanto a sua estrutura de armazenamento dos dados.

As aplicações mais comuns dos MNTs consistem nas derivações de cartas de declividade, de orientação das vertentes, nas simulações dos efeitos de sombreamento e modelagem 3D do relevo, elaboração de perfis e cálculo de volume, etc..



Em relação as formas de armazenamento dos dados, freqüentemente os termos DEM (Digital Elevation Model) e TIN (Triangulated Irregular Network) são utilizados no MNT para distinguir as estruturas que envolvem o uso de Modelos de Grades Regular Retangular - MGRR e Irregular Triangular - MGIT (BURROUGH, 1986).

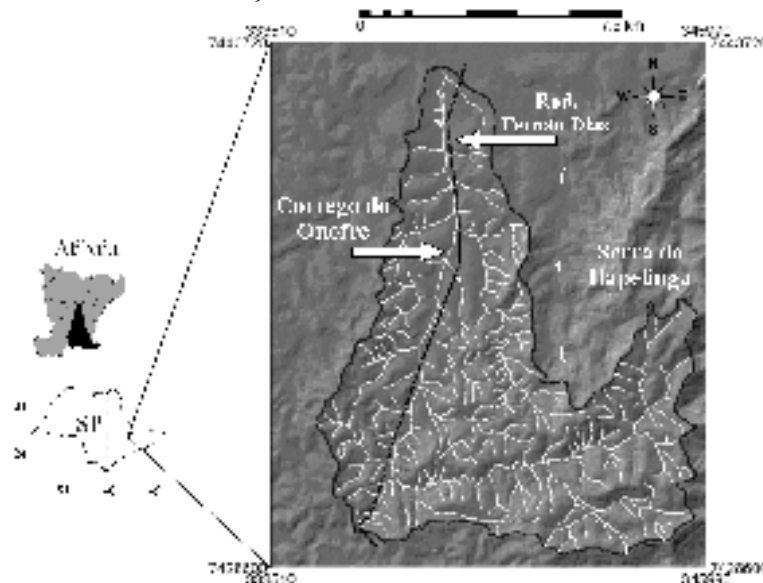
No presente trabalho, os MGRR e MGIT foram explorados para auxiliar na caracterização da fragilidade ambiental na bacia do córrego do Onofre, Atibaia (SP).

Integrando os mapas derivados do MNT com as informações de solo e uso/ cobertura vegetal foram construídos dois mapas: o primeiro corresponde ao mapa de fragilidade potencial, e o segundo, o mapa de fragilidade ambiental. A metodologia adotada foi a de Ross (1994) referente a análise empírica da fragilidade dos ambiente naturais e antropizados.

## ÁREA DE ESTUDO

O município de Atibaia foi fundado em 1665 (IBGE, 1957) e está localizado à Nordeste da cidade de São Paulo, nas coordenadas 23° 07' de Latitude Sul e 46° 33' de Longitude Oeste (figura 1).

**Figura 1.** Localização da bacia do córrego do Onofre no município de Atibaia e em relação ao estado de São Paulo



À uma distância de 60 Km da capital do Estado, e aproximadamente a mesma distância de Campinas (sede da região administrativa), o acesso se dá por duas rodovias principais: Fernão Dias (BR – 381), que interliga São Paulo Belo Horizonte; e D. Pedro I (SP – 065), que faz a interligação Campinas-Jacareí.



O córrego do Onofre é o principal afluente do rio Atibaia no Município, drenando uma área de aproximadamente 7800 hectares. A importância de se estudar a bacia deve-se a dois motivos: (1) presença de um ponto de captação de água destinada ao abastecimento público; (2) diversidade em termos de ocupação e de problemas ambientais (CAMPOS, 2001).

Os maiores problemas que ocorrem atualmente na bacia concentram-se na área de expansão urbana, localizada ao longo da rodovia Fernão Dias.

Segundo Silva (2001), em termos de Unidades Geomorfológicas, a bacia é dividida em cinco unidades. São elas:

- Unidade formada por *Serras Alongadas*: corresponde a região da Serra do Itapetinga. Caracteriza-se por declividades elevadas, afloramentos rochosos e solos pouco desenvolvidos, principalmente do tipo Litólicos. O substrato rochoso é composto predominantemente por Suítes Graníticas.
- Unidade formada por *Morrotes com Serras Restritas*: declividades que variam de médias a altas, desenvolvendo solos principalmente do tipo Podzólicos. A geologia é composta por rochas do Complexo Amparo, formado por biotita gnaisse com intercalação de xistos, quartzitos, anfibolitos, migmatitos bandados, granadas e metalonalitos.
- Unidade formada por *Morrotes*: corresponde a região central da bacia ao longo da Rodovia Fernão Dias. São áreas com declividades variadas sem padrão muito bem definido. Assim como a declividade, os solos também variam de lugar para lugar. Apresenta solos Podzólicos nas áreas sustentadas pelas rochas do Complexo Amparo e Latossolos nas áreas com menores declividades sustentadas por materiais coluvionares (Terciário) localizados nos sopés de morros.
- Unidade formada por *Colinas*: trata-se da área mais urbanizada dentro da bacia. As declividades nesta região são baixas, o que favoreceu o assentamento urbano. Pela pouca declividade do terreno, os solos predominantes são espessos (Latosolos) e desenvolvidos sobre material coluvionar (Terciário).
- Unidade formada por *Depósitos Aluvionares*: região delimitada principalmente pela planície aluvial do Córrego do Onofre. Esta região é composta por depósitos Aluvionares Quaternários sujeitos a inundações periódicas. São marcados por solos profundos e mal drenados. Em geral são argilosos com ocorrência de hidromorfismo e gleização.



O clima da região é do tipo Cfb, segundo a classificação de Koeppen, que é temperado com temperaturas relativamente elevadas durante todo o ano. A média anual é de 19,7°C, variando entre 15,9°C em julho a 22,3°C em fevereiro. Os meses de maiores índices de chuva são de dezembro e janeiro, com totais de 204,6mm e 260,8mm, respectivamente (SILVA, 2000). O período de seca ocorre de abril a setembro.

É importante salientar a influência orográfica da Serra do Itapetinga, com picos de 1200m e eventualmente 1450m acima do nível do mar. A serra funciona como uma barreira, ocasionando eventos pluviométricos mais constantes em suas encostas.

Por estar perpendicularmente situada em relação aos ventos de sudeste (mais úmidos por serem de procedência oceânica), há uma redução da umidade relativa na sede do município, localizada após a serra.

## **MATERIAIS E MÉTODO**

### **CRIAÇÃO DE UM BANCO DE DADOS GEOCODIFICADOS**

A primeira etapa deste trabalho consistiu em criar um banco de dados geocodificados. Este banco tem como função integrar numa mesma base de dados as diferentes informações (*layer*) referentes a área de estudo. Parâmetros específicos como *retângulo envolvente*, *datum horizontal*, *elipsóide* e *zona* são normalmente informados em sua criação.

### **DIGITALIZAÇÃO DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS E DE SOLOS**

Oito cartas topográficas na escala 1: 10 000 (IGC, 1977) que cobrem a área de estudo foram digitalizadas utilizando um programa de vetorização semi-automática. Três Planos de Informações (PIs) foram separados: PIs temáticos de drenagem e estradas e PI numérico de curvas de nível.

O mapa de solos (SILVA, 2000) foi digitalizado da mesma forma que os PIs anteriores. Todavia, por se tratarem de polígonos (áreas sólidas), as classes de cada solo tiveram que ser poligonizados utilizando um algoritmo de conversão segmento-polígono.

### **MODELAGEM NUMÉRICA DO TERRENO (MNT): CONCEITOS E PROCEDIMENTOS ADOTADOS**

A Modelagem Numérica do Terreno é dividida em três etapas maiores constituídas pela fase da amostragem, seguida pelo procedimento de modelagem (definição da estrutura dos dados e ajuste de superfície) e aplicações.

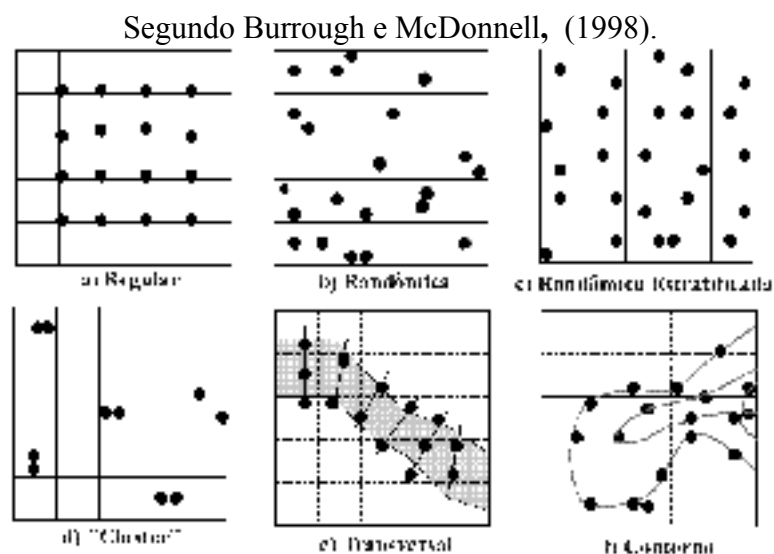


## Amostragem

A amostragem é uma das fases mais importantes de todo o processo de geração dos MNTs. Compreende o armazenamento de um conjunto de amostras ( $n$ ) representativas do fenômeno que se deseja modelar. Além de conter um número suficiente de ( $n$ ), a amostragem deve conter pontos localizados numa posição  $\{z = f(x, y)\}$  que possibilite representar espacialmente o comportamento do fenômeno analisado.

Existem diversas formas de agrupar os tipos de amostragem. Além do carácter qualitativo e numérico, é importante distingui-lo quanto a sua regularidade. A figura 2 ilustra alguns exemplos de amostragem quanto ao padrão de distribuição.

**Figura 2.** Principais tipos de amostragem usadas para coletar dados espaciais,



Na janela (a) a amostragem é feita de forma regular, mantendo sistematicamente os espaçamentos entre os dados amostrados. Na janela (b) a amostragem é randômica (aleatória), não seguindo um padrão definido de distribuição. A forma híbrida de (a) e (b) é ilustrada na janela (c), onde as amostras distribuídas aleatoriamente seguem uma regularidade fixada por 1 ponto em cada bloco. A amostragem concentrada é encontrada na (d), conhecida como *cluster*. A amostragem (e) constitui o do tipo transecto, sendo muito utilizado para perfis de rios e praias. Finalmente a janela (f) ilustra a amostragem em forma de curvas de nível.

A base cartográfica digitalizada na etapa anterior (PI-curva de nível) foi utilizada para a modelagem do MNT. Antes, o número de amostras das curvas de nível foram reduzidas utilizando algoritmo de generalização de Douglas e Peucker (1973).

## Definição de Estrutura dos Dados e Funções de Ajuste de Superfície



As estruturas de dados representam as formas como os dados são armazenados e manipulados no computador. De acordo com Felgueiras (1987), elas são organizadas de forma a possibilitar uma manipulação conveniente e eficiente dos modelos pelos algoritmos de análise.

A diferença básica entre os MGRR e MGIT é a forma da malha. No primeiro modelo as células possuem a mesma forma e tamanho, enquanto no segundo as células também tem a mesma forma porém com tamanhos e angularidades diferentes.

Existem vantagens e desvantagens na utilização de um ou outro modelo de grade.

O aspecto positivo do MGRR, por exemplo, é a “tranqüilidade” proporcionada ao computador para manipular a sua estrutura de dados (BURROUGH, 1986). A desvantagem é o armazenamento de dados redundantes, principalmente onde o relevo apresenta certa uniformidade.

O MGIT é mais conhecido pela sigla TIN – *The Triangulated Irregular Network*. Trata-se de um sistema desenvolvido por Peucker *et al.* [(1978), *apud* Burrough, 1986] que apresenta uma série de vantagens em relação aos MGRR. Evita por exemplo as redundâncias encontradas no MGRR, construindo números variados de triângulos de acordo com as complexidades locais do relevo e permite a incorporação de certas restrições ao modelo (linhas de quebra).

Para a estimativa do MGRR, foi adotado o interpolador conhecido como Média Ponderada com busca de vizinhança por Cota e Quadrante. A expressão matemática é dada por:

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} Z_{ij}}{\sum_{j=1}^n w_{ij}}$$

Onde:

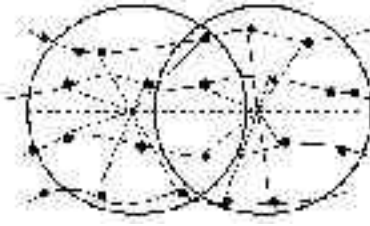
$Z_i$  corresponde o valor de cota de um ponto  $i$

$Z_j$  é a cota de uma amostra  $j$  vizinha do ponto  $i$

$w_{ij}$  é o fator de ponderação que corresponde a  $1 / D_{ij}^p$ . O  $D_{ij}$  é o valor da distância euclidiana da amostra  $j$  ao ponto  $i$ . O  $p$  é a potência da distância que normalmente corresponde ao valor 2.

A busca de pontos vizinhos é feita restringindo o número de pontos por quadrante e por valor de elevação. A figura 3 mostra um esquema deste tipo de busca de vizinhança, recomendada quando a amostragem é do tipo curva de nível (FELGUEIRAS, 1987).

**Figura 3.** Busca de vizinhança utilizando 2 pontos por Quadrante e 1 ponto por elevação  
(FELGUEIRAS, 1987)



O MGIT é estruturado a partir de um conjunto de amostras conectadas por uma triangulação. Existem diversas formas de construir triângulos partindo de um mesmo conjunto de amostras. Todavia, nem todas são eficientes para o modelamento de superfícies.

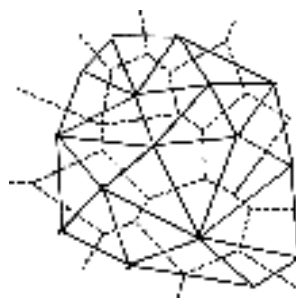
De acordo com Petinatti (1983), como o comportamento de uma superfície em um ponto depende do comportamento em pontos vizinhos, deve-se escolher uma malha onde não haja abundância de triângulos excessivamente longos e afinados.

Entre as diversas formas, a triangulação de *Delaunay* é a que possui todas as propriedades para o ajustamento do terreno (TSAI, 1993). Para a sua construção, a triangulação de *Delaunay* adota critérios específicos para se chegar a uma malha única (Rosim *et al.* 1993).

As definições mais utilizadas na triangulação de Delaunay exploram a Divisão de Dirichlet e a Propriedade do Círculo Vazio.

A Divisão de *Dirichlet* é o dual da triangulação de *Delaunay* (FELGUEIRAS, 1987). Segundo Petinatti (1983), a divisão é feita da seguinte maneira: para cada ponto  $P_i$  amostrado é possível determinar à sua volta uma região que seja o lugar geométrico dos pontos do plano mais próximo de  $P_i$  do que de qualquer outro ponto de controle. O conjunto destas regiões forma um agrupamento de polígonos convexos como a figura 4.

**Figura 4.** Triangulações de *Delaunay* e a Divisão de *Dirichlet* (linhas tracejadas) para um conjunto de 16 pontos no plano. (Modificado de TSAI, 1993)



O critério do Círculo Vazio fundamenta-se nas propriedades derivadas da definição de *Dirichlet* (PETINATTI, 1983). A geração de triângulo é feita com as seguintes restrições: sobre os três vértices de um triângulo existe um círculo que passa pelas suas

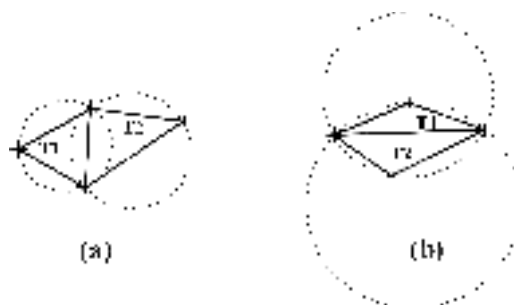




três extremidades; o critério exige que dentro deste círculo não haja nenhum vértice de outro triângulo.

A figura 5 mostra dois exemplos de caso: em (a) o triângulo obedece o critério do Círculo Vazio; em (b) o triângulo não é de *Delaunay*.

**Figura 5.** Critério da Triangulação de Delaunay segundo o Círculo Vazio. Em (a) os triângulos T1 e T2 obedecem o critério. Em (b) T1 e T2 não são triângulos de *Delaunay*. (FELGUEIRAS, 1987).



A estruturação da malha triangular não garante a continuidade da superfície. Por causa disso, um ajuste de superfície é necessário. O ajuste linear é a forma mais simples de implementar a interpolação. Neste *ajuste*, cada triângulo apresenta um comportamento linear. A equação é determinada pelas coordenadas e atributos dos vértices de um triângulo de interesse. A equação é dada por:

$$Z = a + bx + cy$$

De acordo com Felgueiras e Goodchild (1995), o ajuste linear garante continuidade entre as superfícies de triângulos vizinhos mas não é muito suave na transição entre as superfícies.

Em vista disto, foi utilizado por causa de sua eficiência (Felgueiras e Goodchild, 1985) o ajuste polinomial de quinta ordem proposto por Akima (1978). A expressão é dada por:

$$Z(x, y) = \sum_{i=0}^5 \sum_{j=0}^{5-i} q_{ij} x^i y^j$$

Este polinômio possui 21 coeficientes a serem determinados para cada triângulo. A determinação é feita impondo 21 condições, sendo o procedimento seguido para todos os triângulos contidos na malha triangular.





## **Derivações Cartográficas dos MNTs**

Optar por um MGRR ou MGIT é uma questão de escolher qual é o melhor modelo que pode ser utilizado para satisfazer os objetivos pretendidos na análise.

A experiência mostra que os MGRR são melhores para aplicações qualitativas enquanto os MGIT são mais eficientes para aplicações quantitativas.

Em vista dos resultados que cada modelo é capaz de produzir, foram derivados dos MNTs 4 produtos: do MGRR foram gerados a carta hipsométrica, o modelo sombreado do relevo e o modelo tridimensional da bacia; o MGIT foi utilizado para calcular a carta de declividade (primeira derivada do modelo digital), segundo as especificações descritas por Burrough (1986).

## **MAPA DE USO E COBERTURA VEGETAL**

O mapa de uso e cobertura vegetal foi feito processando as bandas 3, 4 e 5 do satélite Landsat 7 ETM+ (órbita 219-76 de setembro de 1999).

Após as imagens terem sido pré-processadas (amenização do efeito atmosférico e geométrico), foi aplicado sobre as três bandas o Modelo Linear de Mistura Espectral. O objetivo foi realçar os alvos de interesse na imagem.

A técnica de estimativa de mistura (imagem-fração) fundamentou-se na metodologia desenvolvida por Shimabukuro e Smith (1991) que se baseia nos critérios dos mínimos quadrados.

As imagens-fração solo, sombra e vegetação gerados do modelo de mistura foram utilizadas como imagem de entrada para o processo de segmentação. O processo de classificação e edição dos erros rotulados são descritos no trabalho de Kawakubo et al. (2003).

Seis classes de uso e cobertura vegetal foram definidas. Estas classes são:

- Mata: constituída pelo predominância de vegetação arbórea (incluindo pequenas manchas de silvicultura) localizadas principalmente na região da serra do Itapetinga.
- Capoeira/Pastagem: manchas de vegetação arbustiva localizadas em regiões de campo antrópico.
- Urbano 3: constituídos por chácaras e condomínios de alto padrão. Possuem alta densidade de vegetação e estão localizadas na transição com as áreas rurais.
- Urbano 2: áreas de expansão urbana, localizadas ao longo da Rodovia Fernão Dias. São caracterizadas pela presença de muitos lotes e de solo exposto.
- Urbano 1: corresponde ao núcleo urbano mais consolidado de Atibaia.



## ÁLGEBRA DE CAMPO COM O USO DA TABELA BIDIMENSIONAL

O primeiro procedimento adotado nesta etapa do trabalho consistiu em definir o grau de fragilidade que cada classe existente nos mapas a serem combinados.

Para a elaboração do mapa de fragilidade potencial, foram utilizados as categorias hierárquicas descritas nas tabelas 1, 2 e 3, que correspondem a fragilidade da declividade, dos solos e à inundação.

<b>Tabela 1. Classes de fragilidade das declividades</b>		
<b>Fragilidade</b>	<b>Categorias</b>	<b>Código</b>
	<b>hierárquicas</b>	
Muito Fraca	até 6%	1
Fraca	de 6 a 12%	2
Média	de 12 a 20%	3
Forte	de 20 a 30%	4
Muito Forte	acima de 30%	5



<b>Tabela 2. Classes de fragilidade dos solos</b>		
<b>Fragilidade</b>	<b>Categorias hierárquicas</b>	<b>Código</b>
Muito Fraca	LVA	1
Forte	PVA	4
Muito Forte	PVA2	5
Média	PVA/LVA	3
Forte	PVA/C	4
Forte	C/PVA	4
Muito Forte	GM	5
Muito Forte	RL/C	5

LVA = Latossolo Vermelho Amarelo; PVA = Argissolos Vermelho Amarelo;  
C = Cambissolo; GM = Hidromórficos; RL = Neossolos Litólicos.

<b>Tabela 3. Classes de fragilidade a inundação</b>		
<b>Fragilidade</b>	<b>Categorias hierárquicas</b>	<b>Código</b>
Muito Fraca	Altitude maior que 750m	1
Muito Forte	Altitude menor que 750m	5

O mapa de fragilidade ambiental foi construído combinando o mapa de fragilidade potencial com o grau de proteção que cada tipo de uso e cobertura vegetal exerce sobre a estabilidade do ambiente. A tabela 4 descreve as categorias hierárquicas de cada classe mapeada.

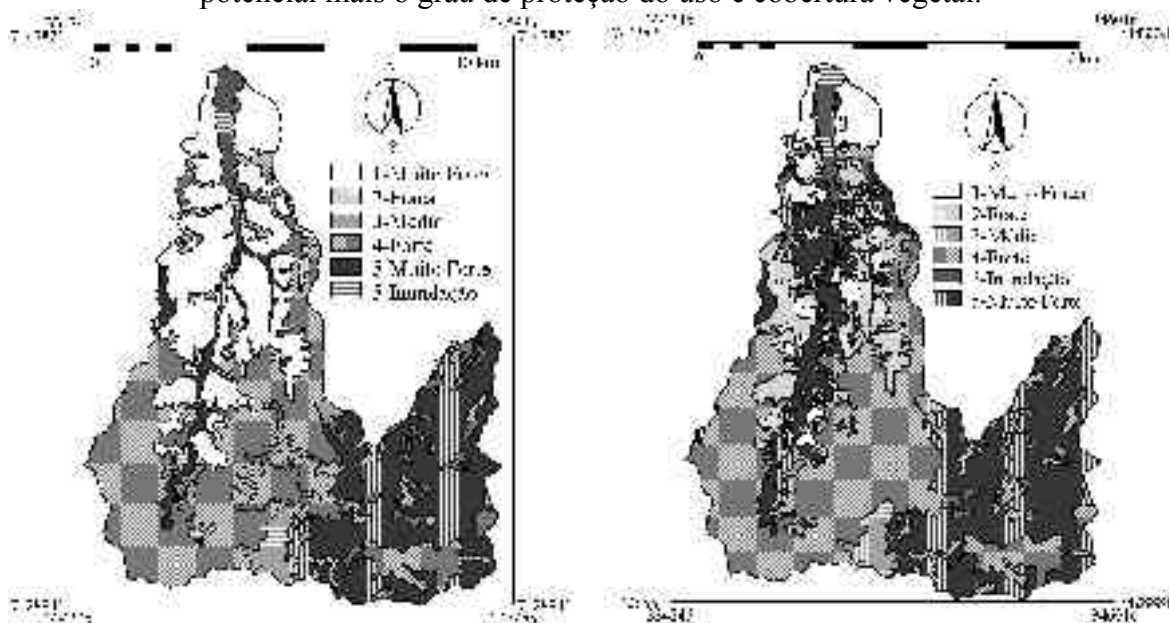
<b>Tabela 4. Classes de proteção de uso e a cobertura vegetal</b>		
<b>Proteção</b>	<b>Categorias hierárquicas</b>	<b>Código</b>
Muito Alta	Mata (1)	1
Alta	Cap./Past.( 2)	2
Baixa	Urbano3 (4)	4
Alta	Urbano2 (2)	2
Muito Alta	Urbano1(1)	1

Os mapas foram combinados de acordo com as seguintes regras: quando as duas classes possuem o mesmo grau de fragilidade (código), mantém-se este grau de fragilidade; quando a combinação é de classes com graus diferentes, a fragilidade resultante será aquela mais forte (MORATO, 2000).

A figura 6 ilustra os mapas de fragilidade potencial (esquerda) e ambiental (direita).



**Figura 6.** A esquerda, o mapa de fragilidade potencial, que resume as fragilidades de declividade, solo e inundação. O mapa da direita é o ambiental, que considera fragilidade potencial mais o grau de proteção do uso e cobertura vegetal.



Conforme pode ser observado, as áreas de baixa fragilidade restringem-se basicamente em duas localidades: (1) no núcleo urbano consolidado de Atibaia (Urbano1); (2) nas áreas onde se desenvolvem os Latossolos Vermelho Amarelo (LVA), excluindo as áreas de expansão urbana (Urbano2).

A maior parte da bacia situa-se entre as fragilidades Forte a Muito Forte. Isso se deve à forma com que a fragilidade foi modelada (baseando-se na fragilidade mais forte) e as características da bacia: predomínio de alta declividades, solos rasos e pouco desenvolvidos.

A tabela 5 mostra como é a frequência da fragilidade ambiental na bacia estudada.

<b>Tabela 5.</b> Distribuição da fragilidade ambiental no córrego do Onofre		
<b>Fragilidade a Erosão/Inundação</b>	<b>Área em Hectares</b>	<b>Área em (%)</b>
Muito Fraca	600	7.7
Fraca	761.1	9.7
Média	244.6	3.1
Forte	3370.6	43.1
Muito Forte	2683.1	34.3
Muito Forte (Inundação)	160.3	2.0

## INTEGRAÇÃO DE OUTRAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS



Além das informações consideradas, outras variáveis como geologia e precipitação são importantes para a caracterização da fragilidade do ambiente.

As informações de geologia correspondem à resistência que cada tipo de rocha possui em relação aos processos de intemperismo químico e a erosão. As informações de pluviometria devem ser incorporadas no estudo pois constitui num dos principais mecanismos de ativação de processos intempéricos em ambiente tropical.

Pelo fato destes dois parâmetros não terem sido diretamente relacionados na modelagem da fragilidade potencial e ambiental, o mapa de geologia (PRÓMINÉRIO, 1985) e os dados pluviométricos foram considerados no projeto por meio de um banco de dado integrado. Servindo portanto como suporte à análise.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Modelagem Numérica do Terreno constitui-se numa das principais técnicas utilizadas para a caracterização e estudo da fragilidade do ambiente. A escolha da estrutura dos dados deve se basear em resultados práticos que cada modelo oferece. A utilização correta da técnica permite ao usuário alcançar resultados mais consistentes e explorar melhor os dados disponíveis.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKIMA, H. A. Method bivariate interpolation and smooth surface fitting for irregular distributed data point. *ACM Trans. Math. Software*. v.4, n.2, p.148-159, 1978.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon, 1986.

BURROUGH, P.; MCDONNELL, R. **Principles of geographical informations systems**. IE-OXFORD-UK, 1998.

CAMPOS, K. C. **Diagnóstico da fragilidade ambiental da bacia do córrego do Onofre, Atibaia**. 60f. Monografia (Trabalho de Graduação Individual em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.



---

DOUGLAS, D. H.; PEUKER, T. K. Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitised line or its caricature. **Can. Cartogr.** n.10, p.112-122. 1973.

FELGUEIRAS, C. A.; Goodchild, M. Two Papers on Triangulated Surface Modeling. **Relatório Técnico 95-2**. NCGIA. University of California, Santa Bárbara. 1995.

FELGUEIRAS, C. A. **Desenvolvimento de um sistema de modelagem digital do terreno para microcomputadores**. 92f. Monografia (Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada) - Ministério da Ciência e Tecnologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.

IBGE 1957 **Enciclopédia dos municípios brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, v.XXVIII, 1957.

IGC **Carta topográfica das folhas Atibaia I, Atibaia II, Atibaia III, Atibaia IV, Jardim Vitória Régia, Morro da Pedra Grande, Vila Marques e Serra da Pedra Vermelha**. São Paulo, 1977 (1º ed.). Escala 1: 10000.

KAWAKUBO, F. S.; CAMPOS, K. C.; MORATO, R. G.; LUCHIARI, A. Cartografia da fragilidade ambiental com uso de técnicas de sensoriamento remoto e de análise espacial. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM GEOGRAFIA, 1, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2003.

MORATO, R. G. **O Geoprocessamento como subsídio ao estudo da fragilidade ambiental**. 44f. Monografia (Trabalho de Graduação Individual em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PETINATTI, F. **Modelagem digital e representações gráficas de superfícies**. 1983. 177f. Monografia (Mestrado em engenharia) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1983.

PROMINÉRIO **Mapa geológico da quadrícula de Atibaia**. Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP, 1985. Escala 1: 50000.



ROSIM, S.; FELGUEIRAS, C.A.; NAMIKAWA, L. M. Uma metodologia para geração de MNT por grades triangulares. In: VII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**. n.8, p.63-74. 1994.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-square mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing**. Piscataway, v.29, n.1, p.16-20. 1991.

SILVA, W. S. **Identificação de unidades ambientais no município de Atibaia – SP**. 2001. 158f. Monografia (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

TSAI, V. J. D. Delaunay Triangulation in TIN Creations: an Overview and linear-time algorithm. **International Journal Geographical Information Systems**. n.7, p.501-524, 1993.