

Identificação de áreas susceptíveis a processos erosivos na região do Vale do Paraíba

Cibele Teixeira Pinto^{1,2}
Pedro Valle de Carvalho e Oliveira¹
Flávio Jorge Ponzoni¹
Ruy Morgado de Castro^{2,3}

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{cibele, flavio}@dsr.inpe.br

² Instituto de Estudos Avançados - IEAv/CTA
Caixa Postal 6044 - 12.231-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{cibele, rmcastro}@ieav.cta.br

³ Universidade de Taubaté ó UNITAU
Caixa Postal 515 - 12201-970 - Taubaté - SP, Brasil
rmcastro@unitau.br

Abstract. Soil erosion is a process by which soil particles are detached and removed from the land surface through the action of wind and water. This phenomenon has turned one of most important environment problems in Brazil. Therewith, studies of mapping potential erosion areas have helped decision makers to minimize erosive process. In this context, this work seeks to locate erosion susceptible areas in Vale do Paraíba region, São Paulo. Some region characteristics exert strong influence on erosion. Here three factors were considered: slope, soil type and vegetation cover. These factors act together and combined. Thus, it was possible applying geoprocessing techniques by crossing information, to identify critical areas and which present greater risk to occur of erosion. The crossed maps were made using *fuzzy* gamma operator, making possible the generation of five scenarios by manipulating the gamma parameter. A study area vulnerability map resulted from the intersection of three maps (slope, NDVI and soil type). This vulnerability map was sliced and it was assigned five classes of erosion susceptible, classified as follows: very low, low, medium, high and very high. This classification indicates priority areas to make actions in order to raise awareness and supervision, *ie.* indicate regions that need to concentrate efforts for maintenance and/or recovery. The five scenarios ranged from most favorable to most unfavorable occurrence of erosion.

Palavras-chave: erosion, fuzzy logic, geoprocessing, erosão, lógica *fuzzy*, geoprocessamento.

1. Introdução

A erosão é o processo pelo qual ocorre a desagregação e o arraste das partículas que constituem o solo (FARIA *et al.*, 2003). A erosão ocorre principalmente pela ação do vento (erosão eólica) ou pela ação da água (erosão hídrica). Segundo Guerra *et al.* (1999) a erosão acelerada dos solos pelas águas e pelo vento é responsável por 56% e 28%, respectivamente, da degradação dos solos no mundo. O Brasil não está imune à erosão, uma vez que este fenômeno tem se tornado um dos principais problemas ambientais que afetam o país (MACHADO, 2002).

Diversas características naturais locais influenciam o processo de erosão, como: (a) o clima (quantidade de chuva); (b) a pedologia (tipo de solo); (c) a geomorfologia (formas do relevo); (d) a geologia (tipo de rochas); e (e) a cobertura e uso do solo (cobertura vegetal) (CREPANI *et al.*, 2001). Estes fatores não agem isoladamente, mas sim combinados. A metodologia do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) de Crepani *et al.* (2001), por exemplo, consiste no desenvolvimento de um mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo por meio da erosão, com base nos fatores que influenciam o processo erosivo. A partir das informações do clima, tipo de solo, geologia, geomorfologia, vegetação, determina-se as áreas mais vulneráveis à perda de solo.

Diante desta problemática, a união de técnicas de geoprocessamento com os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) apresentam enorme potencial de utilização. O avanço das

técnicas de geoprocessamento e os SIGs têm permitido extração de novas informações a partir da integração e do cruzamento de planos de informação oriundos de diferentes fontes. Com isto, a utilização do geoprocessamento tornou-se uma ferramenta relevante em estudos que envolvem problemas ambientais (CÂMARA *et al.*, 2001).

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem por objetivo localizar áreas susceptíveis aos processos erosivos na região do Vale do Paraíba, estado de São Paulo, utilizando técnicas de geoprocessamento, visando tomadas de decisão para minimizar a perda de solo pelos processos erosivos.

2. Área de Estudo

A área de estudo foi o Vale do Paraíba (**Figura 1**), que se localiza na região leste do estado de São Paulo (SP), sendo constituído por 39 (trinta e nove) municípios. A região é caracterizada pelo relevo acidentado das Serras da Mantiqueira e do Mar com altitudes de até 1.900 m. Entre as Serras da Mantiqueira e do Mar localiza-se o Vale, que corresponde a grandes extensões de várzeas (EMPLASA, 2013). O limite da área de estudo foi obtido no site do *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* (IBGE, 2013).

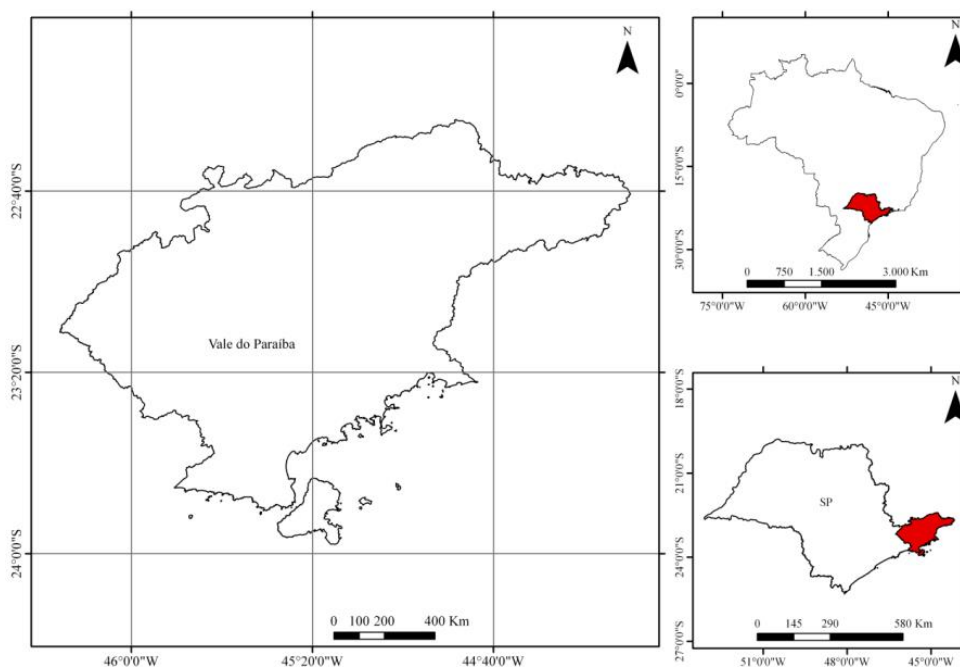


Figura 1: Localização da área de estudo.

3. Susceptibilidade à Erosão

Algumas características naturais da região exercem forte influência sobre a erosão, como a intensidade de chuva, o tipo de solo, o relevo e a cobertura vegetal. Neste trabalho foram considerados e utilizados três fatores controladores importantes para ocorrência de processos erosivos: (a) declividade; (b) tipo de solo; e (c) cobertura vegetal.

A declividade refere-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte, podendo ter unidade de medida em graus (variando de 0° a 90°) ou pode ser expressa em porcentagem (variando de zero a infinito) (VALERIANO, 2008). A declividade tem relação direta com a velocidade de transformação da energia potencial em energia cinética (CREPANI *et al.*, 2001). Quanto maior a declividade, mais rápido a energia potencial das águas transforma-se em energia cinética e maior é a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte (CREPANI *et al.*, 2001). Assim, quanto maior a declividade, maior a susceptibilidade dessa área à erosão. A **Tabela 1** apresenta os índices de vulnerabilidade, de acordo com a declividade do terreno.

Tabela 1: Classes de declividade com os respectivos valores da escala de vulnerabilidade.Fonte: Crepani *et al.* (2001).

Declividade (%)	Valores de Vulnerabilidade
< 2	1,0
2 ó 6	1,5
6 ó 20	2,0
20 ó 50	2,5
> 50	3,0

Outra característica que influencia diretamente a erosão são as propriedades físicas dos solos: textura, estrutura, permeabilidade, densidade, e suas propriedades químicas, biológicas e mineralógicas (GUERRA *et al.*, 1999). Um solo com alta capacidade de absorção de água, por exemplo, está menos sujeito ao processo de erosão hídrica. Para cada tipo de solo é atribuído um peso para sua susceptibilidade á erosão (**Tabela 2**).

Tabela 2: Valores de vulnerabilidade dos solos.Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

Classe de Solo	Valores de Vulnerabilidade
Latossolos	1,0
Argissolos	2,0
Espodossolos	2,0
Cambissolos	2,5
Gleissolos	3,0
Organossolos	3,0

A cobertura vegetal é outro fator importante no processo de erosão, pois determina o grau de proteção do solo. Segundo Crepani *et al.* (2001) e Guerra *et al.* (1999) a ação da cobertura vegetal na proteção dos solos se dá de várias formas: (a) evita o impacto direto das gotas de chuva; (b) impede a compactação do solo, processo que diminui a capacidade de absorção de água; (c) aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva; e (d) suporta a vida silvestre, aumentando a porosidade a permeabilidade do solo.

Neste trabalho, o diagnóstico da cobertura vegetal foi realizado mediante a aplicação do NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), índice comumente utilizado para realçar áreas cobertas por vegetação, expresso pela **Equação 1** (LIU, 2007). Sendo assim, pode-se atribuir pesos de vulnerabilidade aos valores de NDVI (**Tabela 3**).

Segundo Crepani *et al.* (2001), para as altas densidades de cobertura vegetal os valores atribuídos na escala de vulnerabilidade se aproximam da estabilidade (1,0), para as densidades intermediárias atribuem-se valores ao redor de 2,0, e para baixas densidades de cobertura valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (1)$$

onde: NIR = reflectância na faixa do infravermelho próximo (0,725 a 1,10 µm); VIS = reflectância na faixa do visível (0,40 a 0,70 ou 0,75 µm).

Tabela 3: Classes de NDVI com os respectivos valores da escala de vulnerabilidade.

NDVI	Cobertura Vegetal	Valores de Vulnerabilidade
0,5 ó 1	Vegetação Densa	1,0
0,4 ó 0,5	Vegetação Esparsa	2,0
0,3 ó 0,4	Vegetação Rala	2,5
(-0,05) ó 0,3	Solo exposto/Área Urbana	3,0
-1 ó (-0,05)	Copos d'água	-

4. Metodologia

Os três fatores citados acima (declividade, tipo de solo e cobertura vegetal) não agem isoladamente, mas sim combinados. Dessa forma, foi possível adotar técnicas de geoprocessamento, por meio de cruzamento de informações, para identificar as áreas críticas e com maior risco à ocorrência da erosão.

A análise e tratamentos dos dados foram realizadas no software SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) desenvolvido no INPE, no TerraView e no ENVI (*Environment for Visualizing Images*). A metodologia deste trabalho pode ser dividido em três etapas: (1) obtenção dos mapas de declividade, pedológico e NDVI; (2) ponderação das classes de cada mapa; e (3) cruzamento das informações.

4.1 Declividade, Tipo de Solo e NDVI

A Declividade foi obtida no Banco de Dados Topodata/SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponível no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (VALERIANO, 2008). Para obter dados de declividade de toda a área de estudo (**Figura 1**) foram necessárias 4 (quatro) cenas: 22S45_SN, 22S465SN, 23S45_SN e 23S465SN. A próxima etapa foi realizar o mosaico destas cenas (juntar as cenas) e recortar para a área de estudo.

O mapa de tipo de solo (pedológico) utilizado (OLIVEIRA *et al.*, 1999), na escala 1:500.000, continha dados para todo estado de São Paulo, então, foi necessário recortar para a área de estudo.

Como mencionado anteriormente, o diagnóstico da cobertura vegetal foi realizado mediante o cálculo de NDVI. Para ter dados de toda a área de estudo (**Figura 1**) foi necessário 3 (três) cenas do sensor TM abordo do Landsat 5, disponíveis em GloVis (2013) (ver **Tabela 4**).

Tabela 4: Imagens selecionadas para obter o mapa NDVI do Vale do Paraíba.

	Imagem 1	Imagem 2	Imagem 3
Órbita	218	218	219
Ponto	76	77	76
Data	05/09/2011	05/09/2011	24/08/2010

Para a determinação do mapa NDVI foram realizadas três etapas. Primeiro, foi realizada a transformação dos Números Digitais presentes nas imagens em valores de radiância, por meio dos coeficientes de calibração do sensor TM/Landsat5. Em seguida foi realizada a transformação dos valores de radiância em reflectância de superfície. Esta etapa foi realizada no aplicativo ENVI, através do FLAASH (*Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*), que utiliza o código de transferência radiativa MODTRAN para realizar a correção atmosférica. A última etapa foi realizar o mosaico das três imagens e o cálculo do

NDVI, por meio de linha de comando em Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra (LEGAL). Após a obtenção do NDVI, o mapa foi recortado para a área de estudo.

4.2 Ponderação das Classes

Após a obtenção dos três mapas de entrada (declividade, tipo de solo e NDVI), a próxima etapa foi atribuir peso relativo à sua vulnerabilidade. Nesta etapa, os valores recomendados por Crepani *et al.* (2001), na **Tabela 2**, foram convertidos linearmente para escala de 0 a 1 para obter o mapa Tipo de Solo ponderado.

Já para os mapas de declividade e NDVI esta ponderação foi realizada por meio da lógica *Fuzzy*, ou seja, os valores recomendados por Crepani *et al.* (2001), na **Tabela 1 e 3**, foram convertidos para a escala de 0 a 1 através da lógica *fuzzy*, ou seja, não foram definidos limites rígidos. Conjuntos com limites inexatos são chamados de conjuntos *fuzzy*, que admitem pertinência parcial (CÂMARA *et al.*, 2001). Diferente da teoria clássica de conjuntos, onde uma função de pertinência é definida como verdadeira ou falsa (1 ou 0), o grau de pertinência do conjunto *fuzzy* é expresso em termos de escala que varia continuamente entre 0 e 1. A **Equação 2** foi utilizada para gerar o mapa declividade ponderado e o mapa NDVI ponderado (ver **Figura 2**).

$$f(z) = \frac{1}{1 + a \times (z - c)^2} \quad (2)$$

onde: a indica o ponto de cruzamento, onde a evidência tem 50% (0,5) de influência; e c é o ponto central ideal do conjunto.

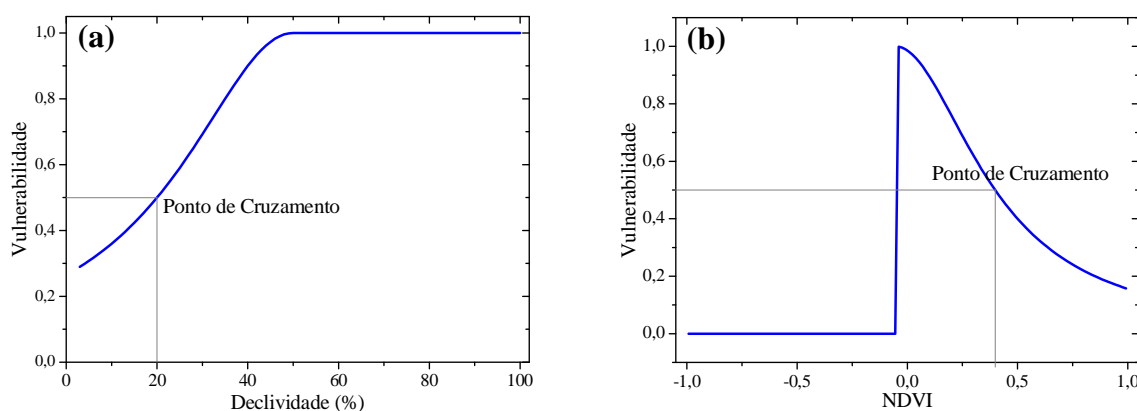


Figura 2: Em (a) gráfico do valor de vulnerabilidade em função da declividade; e em (b) gráfico da vulnerabilidade em função do NDVI.

Segundo Moreira *et al.* (2001) existem diversas vantagens ao se utilizar o método *fuzzy*, quando comparadas aos métodos clássicos, pois estes últimos forçam os especialistas à definirem regras rígidas com contatos geralmente artificiais.

Esta operação de ponderação, dos três mapas, foram implementados por meio de linha de comando em Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra (LEGAL) do SPRING.

4.3 Cruzamento das Informações: *Fuzzy Gama*

Nesta etapa de combinação de mapas foi utilizado o operador *fuzzy gama*. Este operador é um o produto entre a soma algébrica *fuzzy* e produto algébrico *fuzzy* (MOREIRA *et al.*, 2001), que foi implementado por meio de linha de comando em LEGAL do SPRING, expresso pela **Equação 3**.

$$\mu_{Gama} = \left(1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \right)^{\gamma} \times \left(\prod_{i=1}^n \mu_i \right)^{1-\gamma} \quad (3)$$

onde: μ_{Gama} é o valor resultante da operação *fuzzy* gama; μ_i representa o valor dos membros *fuzzy* para um plano de informação μ_i (neste caso são três planos de informação: declividade, NDVI e o tipo de solo); e γ é o parâmetro gama, escolhido no intervalo entre 0 e 1.

A importância maior ou menor do operador em cada termo (soma e produto) depende do expoente gama, γ . Quando $\gamma = 0$, o resultado da **Equação 3** dependerá apenas do termo produto algébrico *fuzzy*, e quando $\gamma = 1$, o resultado dependerá apenas do termo soma algébrica *fuzzy*. Neste trabalho, optou-se pela geração/simulação de 5 (cinco) cenários distintos através dos seguintes valores do parâmetro gama: 0,55; 0,60; 0,65; 0,70 e 0,75.

Uma questão que precisa ser ressaltada é que quando o valor de apenas uma classe é 0 (zero, ou seja, o valor de apenas um plano de informação), o resultado do *fuzzy* gama sempre será zero, não importando se os outros planos de informação tenham classes com valores altos de vulnerabilidade. Esta questão pode ser facilmente observada analisando a **Equação 3**. Para contornar este problema sem alterar significativamente os valores, as classes que tinham o valor 0 (zero) de vulnerabilidade foram substituídas pelo valor 0,1.

O resultado do cruzamento dos três mapas (declividade, NDVI e tipo de solo) foi um mapa de vulnerabilidade da área de estudo. Lembrando que o valor 0 (zero) está associado a maior estabilidade, o 0,5 correspondendo à estabilidade média, e o 1 (um) como o mais instável. Este mapa resultante foi, por fim, fatiado e atribuído 5 (cinco) faixas de suscetibilidade à erosão, classificadas da seguinte forma: Muito Baixo (0 a 0,2), Baixo (0,2 a 0,4), Médio (0,4 a 0,6), Alto (0,6 a 0,8) e Muito Alto (0,8 a 1).

5. Resultados e Discussões

Dos cinco cenários gerados na avaliação de áreas de riscos de erosão do solo no Vale do Paraíba quatro são apresentados na **Figura 3**. De maneira geral a inferência *fuzzy* gama possibilitou flexibilidade na identificação de áreas potenciais para a ocorrência dos processos erosivos.

Através da análise visual da **Figura 3**, é possível constatar que os resultados obtidos foram dependentes do mapa pedológico, pois os limites mais rígidos observados nesta figura foram, em geral, os mesmos limites entre os tipos de solo. Para aprimorar o desenvolvimento deste modelo de espacialização da fragilidade do solo a ocorrência de erosão, obtendo uma superfície mais contínua, é necessário mapa pedológico numa escala menor, ou seja, mais refinado, na qual as mudanças do tipo de solo ocorram de forma mais suavizada e continuamente.

A quantificação das áreas de riscos pode ser observada na **Tabela 5**, a qual apresenta os valores absolutos e relativos classificados em cada uma das cinco classes (Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto) e para os cinco parâmetros gamas. Lembrando que esta classificação quanto ao risco de erosão é uma indicação de orientação de áreas prioritárias para ações de conscientização e fiscalização.

É possível notar, por meio da observação da **Tabela 5**, baixa ocorrência de susceptibilidade na classe *Muito Alto*, sendo que o máximo de classificação foi para o valor de $\gamma = 0,75$, onde menos de 0,19% de toda área foi classificado para esta classe. Em geral, em todos os 5 (cinco) cenários, predominaram as áreas classificadas como *Baixo* e *Médio* risco, com valores de vulnerabilidade que variam de 0,2 a 0,6, sendo que a porcentagem de classificação para estas duas classes juntas foram aproximadamente: 68%, 74%, 80%, 83% e 73%, para os parâmetros gamas iguais a 0,55, 0,60, 0,65, 0,70 e 0,75, respectivamente.

Em relação à variação do parâmetro gama, o resultado mostrou que o aumento dele aumentou os valores de vulnerabilidade a ocorrência de erosão, em outras palavras, o aumento do valor do parâmetro gama gerou cenários mais favoráveis à ocorrência de erosão. Este fato pode ser constatado através da análise visual da **Figura 3**.

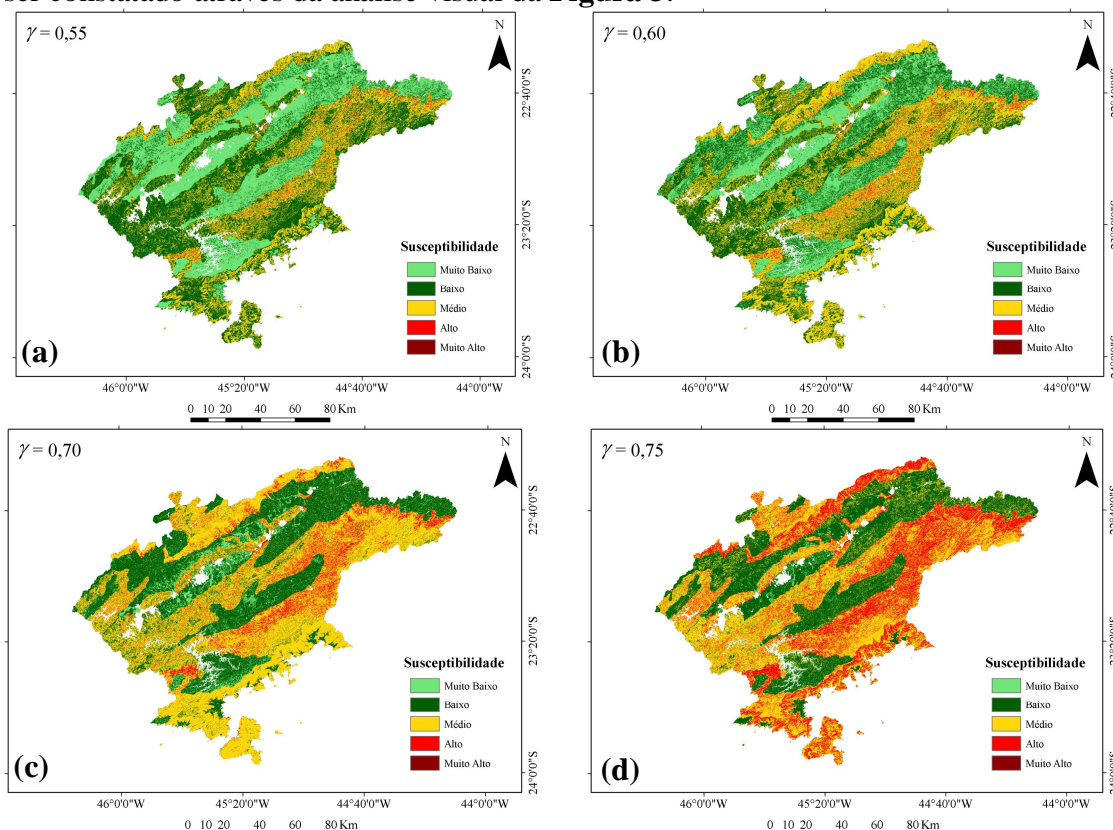


Figura 3: Cenários de suscetibilidade a erosão gerados com os valores do parâmetro gama de: (a) 0,55; (b) 0,60; (c) 0,70; e (d) 0,75. Em branco são regiões não classificadas, áreas de corpos d'água ou sem informação do tipo de solo.

Tabela 5: Quantificação das áreas de risco de erosão do solo no Vale do Paraíba para os cinco parâmetros gama.

	Área	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto	Total
= 0,55	km ²	4761,7	6649,5	3903,7	204,58	0,8334	15520
	%	30,680	42,844	25,152	1,3181	0,0054	100
= 0,60	km ²	3586,1	6189,1	5344,3	399,64	1,3131	15520
	%	23,106	39,877	34,434	2,5749	0,0085	100
= 0,65	km ²	2325,4	5775,9	6675,1	741,56	2,4228	15520
	%	14,983	37,215	43,009	4,7780	0,0156	100
= 0,70	km ²	1162,8	5444,7	7515,0	1391,7	6,2622	15520
	%	7,4918	35,081	48,420	8,9670	0,0403	100
= 0,75	km ²	378,71	4724,4	6639,5	3749,0	28,661	15520
	%	2,4401	30,440	42,780	24,156	0,1847	100

6. Conclusões

As técnicas de geoprocessamento foram fundamentais para a localização das áreas susceptíveis aos processos erosivos no Vale do Paraíba. Através da integração e manipulação de dados de diversas fontes foram obtidas novas informações de interesse.

O operador *fuzzy* Gama, aplicado na etapa de combinação dos mapas, gerou diferentes cenários que vão do mais favorável ao mais desfavorável a ocorrência da erosão, portanto, demonstrou ser flexível na geração de cenários de risco potencial. Com isto, uma das grandes vantagens da utilização desta técnica é a possibilidade de gerar diferentes cenários para a tomada de decisão, através da manipulação dos valores do parâmetro gama.

A classificação quanto ao risco de erosão (muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto) é uma indicação de orientação de áreas prioritárias para ações de conscientização e fiscalização, ou seja, indicam regiões onde precisam concentrar esforços visando sua manutenção e/ou recuperação.

Vale ressaltar que embora a erosão possa ser explicada em parte pela associação dos três fatores considerados neste trabalho (cobertura vegetal, tipo de solo e declividade), várias outras variáveis podem e devem ser consideradas para melhorar o desenvolvimento de um modelo de espacialização da fragilidade do solo a ocorrência de erosão.

Referências Bibliográficas

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001 (INPE-10506-RPQ/249). 345 p. Disponível em: < <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2013.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2001 (INPE-8454-RPQ/722). 103 p. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/dsr/simeao/Publicacoes/SERGISZEE3.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2013.

EMPLASA. Governo do Estado de São Paulo. Secretaria de Desenvolvimento Metropolitano. **Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte**. 132 p. Disponível em: <http://www.emplasa.sp.gov.br/emplasa/conselhos/ValeParaiba/textos/livro_vale.pdf>. Acesso em: 22 maio 2013.

FARIA, A. L. L.; SILVA, J. X.; GOES, M. H. B. Análise ambiental por geoprocessamento em áreas com susceptibilidade à erosão do solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, vol. 4, n.9, p. 50-65, 2003.

GloVis - Global Visualization Viewer USGS. 2013. Disponível em: <<http://glovis.usgs.gov/>>..

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 340p.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007. 908 p.

MACHADO, R. E. **Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2002. 166p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) ó Escola Superior de Agricultura Luis Queiros, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-10072002-161200/pt-br.php>>. Acesso em: 22 maio 2013.

MOREIRA, F. R. S. **Uso da avaliação de técnicas de integração e análise espacial de dados em pesquisa mineral aplicadas ao planalto de Poços de Caldas**. 2001. 164 p. (INPE-9481-TDI/825). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/10.10.07.29>>. Acesso em: 28 maio 2013.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas, Instituto Agrônomo/EMBRAPA-Solos. Campinas. 64 p. 1999.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008 (INPE-15318-RPQ/818). 75 p. Disponível em: <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 22 maio 2013.