

**Avaliação da vulnerabilidade ambiental do médio alto Curso do rio Grande (RJ),  
subsídios ao planejamento de paisagens montanhosas da serra do Mar.**

Braz Calderano Filho<sup>1</sup>  
Waldir de Carvalho Junior<sup>1</sup>  
Helena Polivanov<sup>2</sup>  
Cesar da Silva Chagas<sup>1</sup>  
Silvio Barge Bhering<sup>1</sup>  
Sebastião Barreiros Calderano<sup>1</sup>

<sup>1</sup>EmbrapaSolos  
Rua Jardim Botânico, n<sup>o</sup> 1.024, CEP:22460-000, Rio de Janeiro-RJ, Brasil  
{braz.calderano, waldir.carvalho, cesar.chagas, silvio.bhering, sebastião.calderano}  
@embrapa.br

<sup>2</sup>Universidade federal do Rio de Janeiro – UFRJ/IGEO  
CEP: 21941-916, Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
(hpolivanov@gmail.com.br)

**Abstract:** The purpose of this study was to assess the environmental vulnerability of the land in an area of influence of the upper course of the Rio Grande Watershed, mountainous region of the state of Rio de Janeiro. The methods involved the acquisition, conversion and storage of basic data in digital media, building a digital database, overlay of thematic maps in GIS environment, by assignment of values to each input variable, according to the importance in relation to environmental vulnerability. The final map, produced at 1:50,000, stratify the study area into 8 classes of environmental vulnerability, described as: Low, Low to Moderate, Moderate, High, high to very high, very high, very high to extremely high, and extremely high. The results contribute to the development of Geo-environmental mapping of the Serra do Mar landscape.

**KEYWORDS:** Geoprocessing, map overlay, digital elevation models and geographic information system (GIS)

### **1- Introdução**

A vulnerabilidade ambiental pode ser entendida como o “status” de condições específicas dos ecossistemas ou segmento da paisagem, em análise. Onde, os graus de tolerância do meio físico natural (vulnerável ou estável) podem ter suas condições específicas de equilíbrio alteradas, ou por fatores de ordem natural ou provocada pela interferência da ação humana. O conceito de vulnerabilidade envolve vários outros conceitos como o de fragilidade, sensibilidade, suscetibilidade e estabilidade, em graus diferenciados dos componentes ambientais a determinado risco, proveniente de qualquer alteração em seu equilíbrio. A fragilidade pode ser entendida como a capacidade de resistir ou não as transformações e a sensibilidade é um conceito relacionado à capacidade amortizadora, onde a maior capacidade implica em menor sensibilidade.

De acordo com Groot (1994), a sensibilidade está condicionada pela proximidade de ecossistemas sensíveis, ou seja, aqueles que sustentam e mantêm inúmeras funções ambientais. Por sua vez, a vulnerabilidade pode ser definida segundo Kruijf & Schouten (1987), como a incapacidade de lidar com fatores que causam stress, incluindo fatores naturais, baseando-se nas forças internas necessárias para que se mantenham as características essenciais do ecossistema, considerando-se os limites do mesmo.

A vulnerabilidade das terras varia em função dos solos, do clima, tipos de uso, uso de produtos químicos, etc, sua avaliação abrange a análise do potencial e riscos (BATJES & BRIDGES, 1997). Ela fornece um “status” da situação atual, difere da avaliação de riscos que são previsões futuras (ISRIC& FAO, 2000).

A análise empírica da fragilidade envolve estudos básicos do relevo, da litologia, da estrutura do solo, do uso da terra e do clima (ROSS, 1994). Segundo Donha et. al. (2006), na análise da fragilidade, os componentes que dão suporte à vida (solos, relevo, geologia, água, clima e vegetação) devem ser avaliados de maneira integrada, considerando-se sempre as intervenções antrópicas modificadoras dos ambientes naturais.

Com base no exposto, o objetivo deste trabalho foi realizar a avaliação da vulnerabilidade ambiental das terras na área de influência do médio alto curso do Rio Grande, região serrana do estado do Rio de Janeiro, visando fornecer subsídios para o planejamento ambiental e a gestão sustentável das terras de paisagens rurais montanhosas na serra dos Órgãos.

## **2- Material e Métodos**

### **2.1 – Caracterização da área**

Localizada no médio alto curso do rio Grande, região serrana do estado do Rio de Janeiro, a área de estudo com aproximadamente 485 km<sup>2</sup> abrange partes territoriais dos municípios de Nova Friburgo, Bom Jardim, Cordeiro, Trajano de Moraes, Casimiro de Abreu e Duas Barras. O relevo apresenta variações de altitude, com predomínio de morros e escarpas aguçadas e amplitudes de elevação entre 480 a 1620m (CALDERANO FILHO, 2012). O tipo climático predominante é o tropical mesotérmico úmido, com temperaturas bem distribuídas o ano todo e pouco ou nenhum déficit hídrico. A vegetação natural é representada pela floresta tropical subperenifólia nas partes altas e a floresta tropical subperenifólia de várzea nas partes baixas.

### **2.2 – Metodologia de Trabalho**

A execução do trabalho envolveu a construção de um banco de dados digitais em SIG, aquisição, conversão e armazenamento de dados básicos em meio digital, operacionalização de mapas temáticos através de técnicas de geoprocessamento e avaliação da vulnerabilidade ambiental.

A partir das feições digitalizadas, curvas de nível, limites, pontos cotados e hidrografia extraídas das cartas topográficas da FIBGE, folhas Quartéis, Cordeiro, Trajano de Moraes, Duas Barras e Casimiro de Abreu, armazenadas no banco de dados, elaborou-se o modelo digital de elevação da área, com resolução espacial de 15m, utilizando-se a ferramenta Topo to Raster do programa ArcGIS Desktop (ESRI, 2006). Para a geração do MDE efetuou-se ajustes topológicos e direcionais da hidrografia, das curvas de nível e dos pontos cotados. A partir do MDE foram produzidos o mapa de declividade e extraídas outras variáveis morfométricas de interesse como direção do fluxo, fluxo acumulado, orientação das vertentes, perfil de curvatura e plano de curvatura das vertentes. Esses grids juntamente com os mapas de solos, estrutura geológica, declividade, uso e cobertura das terras, rede de drenagem, vegetação, precipitação local e distribuição de áreas inundáveis, armazenados no banco de dados, auxiliaram na interpretação da vulnerabilidade ambiental da área. Os mapas temáticos, necessários à interpretação foram extraídos do estudo realizado por Calderano Filho (2012).

A avaliação da vulnerabilidade das terras é uma função dependente da análise integrada das condições geológicas, pedológicas, geomorfológicas, geotécnicas, climáticas, hidrogeológicas e outros atributos inerentes aos fatores indicadores da vulnerabilidade das terras, mais específicos à área em estudo, tais como, condições topográficas do relevo, profundidade do solo, substratos, susceptibilidade a erosão, permeabilidade, drenabilidade, hidromorfismo, índices pluviométricos, entre outros. Estes fatores dependendo de suas condições atuais,

influenciam mais ou menos na vulnerabilidade das terras.

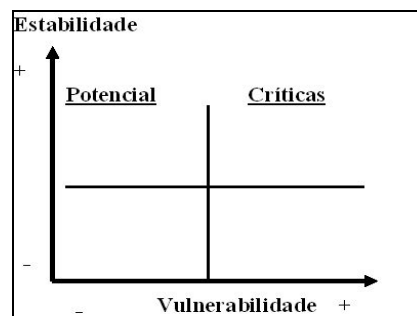
A avaliação da vulnerabilidade ambiental baseou-se nos trabalhos de Batjes & Bridges (1997), ISRIC & FAO (2000) e Ross (1994), com adaptações. Envolvendo a integração dos principais fatores considerados permanentes, indicadores de fragilidades e vulnerabilidade das terras. Para isso, combinou-se a análise multicritério com o método de álgebra de mapas, através da superposição temática em SIG e atribuição de pesos de importância a cada um dos fatores da análise, com valores específicos para cada parâmetro, segundo o grau de importância dos fatores em relação à vulnerabilidade ambiental.

A análise de multicritério permite a investigação combinada de variáveis para gerar um mapa síntese como produto final, o método de álgebra de mapas consiste na aplicação de operações aritméticas para associar várias camadas de modo a obter como resultado, classificações que permitem análises diversas (SILVA & MACHADO, 2013).

Os fatores preponderantes de maior peso, como condicionantes da vulnerabilidade na área de estudo, foram a declividade, tipos de solos, tipos de rochas e índices pluviométricos, estando os condicionantes uso e cobertura atual em segundo plano, como fatores que podem induzir ou amenizar a degradação. A precipitação é um índice variável por sub-bacias que compõe a área de estudo, e se baseou nos totais pluviométricos das séries de 1966 a 2008, das estações pluviométricas de Bom Jardim e Barra Alegre (ANA, 2007). Onde ocorrem situações de relacionamentos entre extremos de vulnerabilidade segundo a declividade com extremos de vulnerabilidade segundo fatores pedológicos, o uso e a cobertura atual aliado às características do solo, como drenagem, rochosidade, pedregosidade e vegetação original funciona como mecanismo de compensação. Os totais pluviométricos podem elevar ou diminuir o grau de vulnerabilidade, enquanto a vegetação pode funcionar como efeito protetor e capacidade de amortizar ou amenizar a ação das águas.

Após a definição das variáveis utilizadas no estudo, tais como informações de solo, litologia, relevo e declividade, uso e cobertura das terras, rede de drenagem, vegetação, precipitação e distribuição de áreas inundáveis, foram definidos pesos que variaram de 0-1 para cada variável e notas hierarquizadas de 1 a 5 para cada componente de legenda. Para o processamento dos dados utilizou-se as ferramentas Overlay, raster calculator e reclassify, disponíveis no ArcGis 9.3, que permitem o cruzamento ponderado de diversos fatores analisados, as relações entre eles, a sobreposição e atribuição dos valores das classes de suscetibilidade e vulnerabilidade. O mapa gerado com valores entre 0 e 255, foi estratificado em 8 intervalos, cada um representando uma classe de vulnerabilidade ambiental, sendo elas: Baixa (B), Baixa a Moderada (B/M), Moderada (M), Alta (A), Alta a Muito Alta (A/AM), Muito Alta (MA), Muito Alta a Extremamente Alta (MA/EA) e Extremamente Alta (EA).

Encontra-se inserido na avaliação da vulnerabilidade das terras, o estudo da susceptibilidade à erosão do solo, sabe-se que as áreas mais propensas à erosão são mais vulneráveis que outras áreas mais estáveis do ponto de vista pedológico. Para hierarquizar os fatores de importância em relação a susceptibilidade à erosão, seguiu a tabela de atributos disponível em Calderano Filho (2012).



Fonte: Adptado de BECKER & EGLER 1996.

Nesse sentido, quanto mais baixa a classe de vulnerabilidade assinalada no mapa, mais alta será a estabilidade do ambiente onde se insere, conforme mostra a Figura 1. Por outro lado, isso não isenta tais áreas de outros riscos ambientais, como é o caso das áreas planas e suavizadas, que estão sujeitas a inundação ocasional e são áreas de acumulação de clásticos.

### **3- Resultados e Discussão**

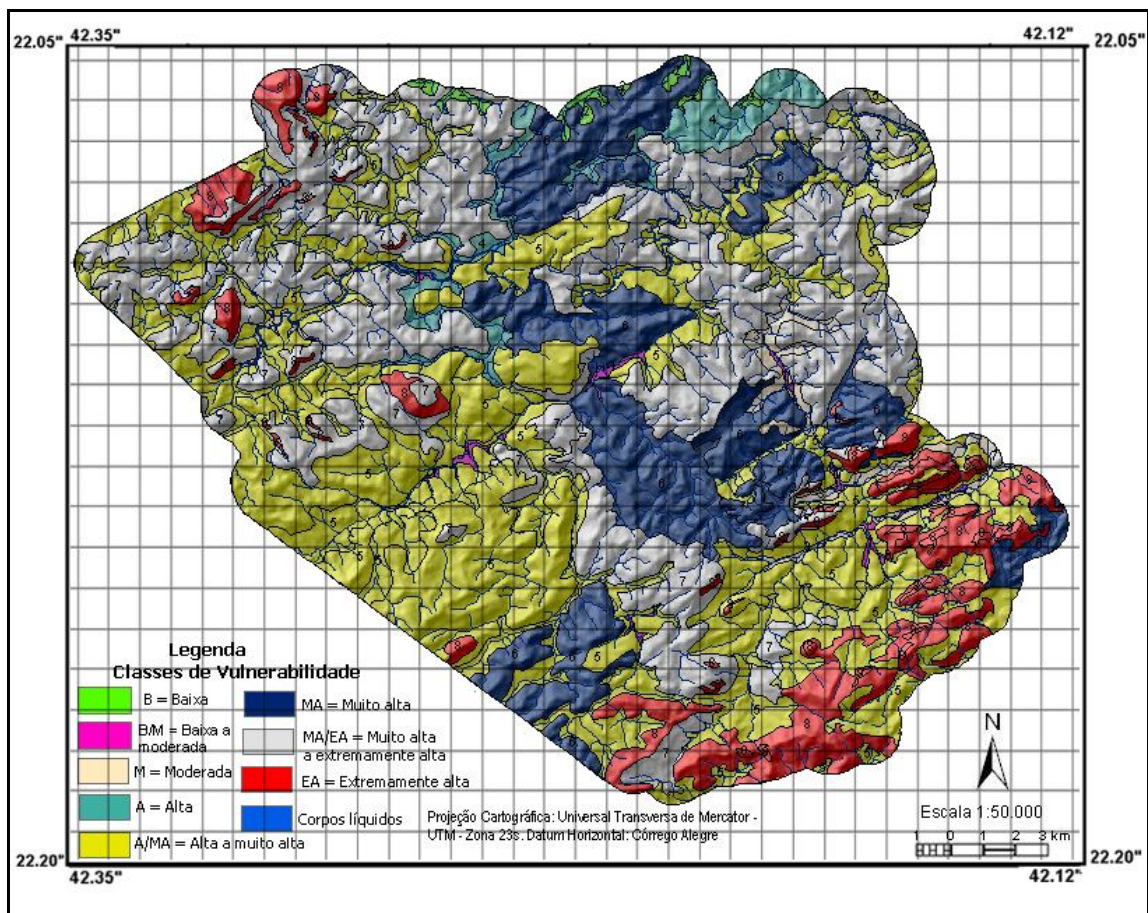
As classes de vulnerabilidade ambiental são descritas abaixo, a Figura 2, mostra a distribuição espacial das classes e a Tabela 1, mostra os percentuais de ocorrência das classes de vulnerabilidade ambiental.

Vulnerabilidade baixa, condicionada por risco ocasional de inundação e presença do lençol freático próximo a superfície. Compreende parte das terras baixas suavizadas, onde se inclui áreas de alvéolos intermontanos, entulhadas por material deposicional, com maior umidade e sujeitas a menores riscos de inundações que as áreas planas de várzeas. São áreas que ocorrem ora margeando a planície de inundação do rio Grande, ora constrita entre as elevações coluviais, com relevo suave ondulado, declives entre 3 a 8% e vegetação de floresta tropical subperenifólia de várzea, onde se desenvolvem solos com profundidade variada e drenagem imperfeita em certos locais. Os solos predominantes são Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho Amarelo e Argissolo Amarelo que ocorrem associados à Neossolos Flúvicos e Cambissolos Flúvicos, desenvolvidos de material sedimentar diverso e com melhores condições de fertilidade natural. São terras pouco suscetíveis à erosão, ocupadas com plantio de olerícolas diversas, capineiras, flores ornamentais, fruticultura e capoeira. Os alvéolos, por serem áreas de baixo gradiente possibilitam a formação de terraços fluviais deposicionais, caracterizados como áreas de parada temporária dos clásticos. Os riscos de inundação, devido à pequena inclinação do terreno e de contaminação de corpos d'água, por agrotóxicos ou por dejetos humanos e de animais, são as principais limitações.

Vulnerabilidade Baixa a Moderada, condicionada por textura errática, presença de camadas orgânicas, risco de inundação e nível do lençol freático elevado em algumas épocas do ano. Compreende parte das terras baixas, planas, com maior umidade e risco de inundação, são superfícies encaixadas no fundo achatado do vale, que ocorrem margeando os canais de drenagem dos córregos e rios. São áreas de relevo praticamente plano, declives de até 3%, sob vegetação original de floresta tropical subperenifólia de várzea, onde predominam Neossolos Flúvicos que ocorrem associados à Cambissolos Flúvicos, com inclusão de Gleissolos Háplicos, desenvolvidos de sedimentos provenientes de deposição aluvial e orgânica São terras de suscetibilidade à erosão nula, com limitações por excesso de água e deficiência de aeração, propícias a sofrer inundações periódicas. Encontram-se ocupadas com plantios de olerícolas, capineiras e áreas em pousio. No manejo desse compartimento, cuidados devem ser tomados no que diz respeito ao encharcamento do solo, durante as chuvas, devido à pequena inclinação do terreno e com relação aos riscos de contaminação de corpos d'água, por agrotóxicos ou por dejetos humanos e de animais.

Vulnerabilidade moderada, condicionada por declividade, presença ou não de gradiente textural, ligeira rochiosidade e pedregosidade. Compreende parte das terras altas, onde se inclui pequenas áreas de depósito de tálus. Corresponde às áreas de colinas e morros baixos, de relevo praticamente ondulado, com declividade de 8 a 14%, sob vegetação original de floresta tropical subperenifólia, atualmente com poucos remanescentes. Os solos predominantes são Latossolos Vermelhos, Vermelho Amarelos e Amarelos, distróficos com horizonte A moderado e proeminente. Em menor proporção, ocorrem Argissolo Vermelho distrófico com horizonte A moderado. Os solos são bem drenados de textura argilosa, argilosa/muito argilosa e média/argilosa, encontram-se ocupados com fruticultura, plantios de olerícolas e pastagem. Estas terras apresentam moderada suscetibilidade à erosão.

Vulnerabilidade alta, condicionada por declividade, textura do solo, ligeira rochiosidade e pedregosidade. Compreende parte das terras altas, onde ocorre pequenas áreas de depósito de tálus. Corresponde às áreas de colinas e morros baixos, de relevo ondulado, com declividade de 14 a 20%, sob vegetação original de floresta tropical subperenifólia, atualmente com poucos remanescentes. Os solos predominantes são Latossolos Vermelhos, Vermelho Amarelos e Amarelos com horizonte A moderado e proeminente. Em menor proporção, ocorrem Argissolo Vermelho com horizonte A moderado e inclusão de Cambissolo Háplico. Os solos são profundos, bem acentuadamente drenados, distróficos, de textura argilosa, argilosa/muito argilosa e média/argilosa, encontram-se ocupados com fruticultura, plantios de olerícolas e pastagem. Nas áreas de solos menos profundos, podem ocorrer matações e afloramentos de rocha, verificando ainda, a presença de contato lítico no perfil de solo e depósito de tálus. Estas terras apresentam moderada a forte susceptibilidade à erosão.



**Figura 2** - Distribuição espacial das classes de vulnerabilidade ambiental.

Vulnerabilidade alta a muito alta, condicionada por relevo e declividade, espessura do solum, textura, moderada rochiosidade e pedregosidade e totais pluviométricos. Compreende parte das terras altas, onde ocorrem áreas de depósito de tálus, colinas e morros de relevo ondulado e forte ondulado, com declives de 14 a 20% e de 20 a 30%, sob vegetação original de floresta tropical subperenifólia. Os solos predominantes são Latossolo Amarelo distrófico húmico, Latossolo Vermelho distrófico, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, Argissolo Vermelho Amarelo distrófico e inclusão de Cambissolo Háplico com horizonte A moderado. Os solos são profundos, permeáveis, por vezes menos espessos, bem acentuadamente drenados, de textura argilosa, argilosa/muito argilosa e média/argilosa, com argila de baixa atividade, e

encontram-se ocupados com fruticultura, plantios de olerícolas e pastagem. Nas áreas de solos menos profundos, podem ocorrer matacões e afloramentos de rocha, verificando-se ainda a presença de contato lítico no perfil de solo e depósito de tálus. A posição na paisagem, o relevo e a ocorrência de solos de textura média/argilosa, conferem um maior grau de fragilidade a essa unidade. Estas terras apresentam forte susceptibilidade à erosão, devido principalmente ao relevo declivoso e às elevadas precipitações pluviométricas que incidem nessas áreas. A retirada da cobertura vegetal aliado às precipitações concentradas e abundantes no período chuvoso, podem provocar ravinamentos e até movimentos de massa de certa amplitude. Práticas conservacionistas devem ser adotadas para controle da erosão e preservação dessas áreas, estimulando a revegetação ou reflorestamento.

Vulnerabilidade muito alta, condicionada por relevo e declividade, espessura do solum, textura, moderada rochosidade e pedregosidade e áreas com depósito de tálus e clima. Compreende parte das terras altas, onde ocorrem áreas com relevo forte ondulado, declives de 20 a 45% e áreas de depósito de tálus. São elevações com menor altitude do que as serras e praticamente desprovidas de afloramentos de rochas, inseridas nas encostas íngremes do cristalino, sob vegetação original de floresta tropical subperenifólia. Os solos predominantes são Argissolos Vermelho e Vermelho-Amarelo distróficos, textura média/argilosa, média/muito argilosa ou argilosa/muito argilosa, Latossolos Amarelo e Vermelho Amarelo, distróficos, com horizonte A moderado, proeminente ou húmico, de textura argilosa ou muito argilosa, e inclusão de Cambissolo Háptico, textura argilosa ou média/argilosa. Os solos são profundos, porosos, permeáveis, por vezes menos espessos, bem acentuadamente drenados, com argila de baixa atividade. Nas áreas de solos menos profundos, podem ocorrer matacões e afloramentos de rocha, verificando-se ainda a presença de contato lítico no perfil de solo e áreas de depósito de tálus. Estas terras apresentam muito forte susceptibilidade à erosão e encontram-se ocupadas com fruticultura, plantios de olerícolas, pastagem e floresta natural. O relevo forte ondulado, a suscetibilidade muito forte dos solos à erosão e os índices de precipitação, são os principais fatores restritivos da classe. O principal risco é com a erosão acelerada e perda de horizonte A. A concentração e os índices de precipitação podem provocar grandes ravinamentos e até movimentos de massa de certa amplitude, caso seja retirada a cobertura vegetal ou feitos desmatamentos generalizados nessas áreas.

Vulnerabilidade muito alta a extremamente alta, condicionada por relevo e declividade, espessura do solum e rochosidade abundante. Compreende parte das terras altas, com elevações de menor altitude do que as serras, com relevo forte ondulado e montanhoso, declives de 20 a 45% ou maiores que 45%, com vertentes escarpadas e cumes aguçados com afloramentos rochosos. Os solos predominantes são Latossolo Amarelo com horizonte A moderado ou húmico, Latossolo Vermelho e Vermelho-Amarelo com horizonte A moderado, distróficos, de textura argilosa ou muito argilosa, Argissolo Vermelho-Amarelo, distrófico, com horizonte A moderado, textura média/argilosa e argilosa/muito argilosa, Cambissolos Hápticos e Húmicos, de textura argilosa ou média/argilosa que ocorrem associados à afloramentos de rocha. Os solos são profundos, permeáveis, por vezes menos espessos, bem acentuadamente drenados, com argila de baixa atividade. Nesta área predomina a floresta tropical subperenifólia e, em menor proporção ocorre vegetação rupestre nas áreas montanhosas com afloramento de rocha. Nas áreas de solos menos profundos, podem ocorrer matacões e afloramentos de rocha, verificando-se ainda a presença de contato lítico no perfil de solo. Estas terras apresentam muito forte a extremamente forte susceptibilidade à erosão e encontram-se ocupados com pastagem, campo rupestre, floresta rala e floresta natural. São áreas frágeis de relevo movimentado, susceptíveis a violentos processos erosivos, o principal risco é com a erosão acelerada com perda de horizonte A e movimentos de massa. A concentração e os índices de precipitação pode provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto ou seja retirada a cobertura vegetal nessas glebas.

Vulnerabilidade extremamente alta, condicionada por relevo e declividade, espessura do solum e rochosidade abundante. Compreende parte das terras altas, inseridas na unidade geomorfológica afloramentos rochosos do pré-cambriano, são ecossistemas frágeis de relevo montanhoso e escarpado, declives maiores que 45%, com blocos rochosos salientes, escarpas ou encostas íngremes, intercalados com afloramentos de rocha, que ocorrem associados a solos à Neossolo Litólico e Cambissolo Háptico, distróficos, com horizonte A moderado, textura argilosa ou média/argilosa e argila de atividade baixa. Em menor proporção ocorrem Argissolo Vermelho - Amarelo distrófico, com horizonte A moderado, textura argilosa ou muito argilosa, argila de atividade baixa e, Latossolo Amarelo árico e distrófico, húmicos, textura argilosa ou média/argilosa. Os solos são pouco profundos a profundos, permeáveis, bem a acentuadamente drenados, nos quais predomina fragmentos de floresta natural e vegetação rupestre. Estas terras apresentam muito forte a extremamente forte susceptibilidade à erosão. São áreas frágeis de relevo muito movimentado, susceptíveis a violentos processos erosivos, sujeitas a movimentos de massa, risco de desagregação e queda de blocos de rocha. Devido a posição delicada que ocupam na paisagem, o principal risco é com a erosão acelerada com perda do horizonte A, movimentos de massa e ocorrência de queda de blocos, em função do deslocamento das rochas. A impermeabilidade do material rochoso, associado à vegetação rupestre pouco densa, incrementa os processos erosivos nestes locais. A concentração e os índices de precipitação pode provocar grandes ravinamentos, caso mantenha-se o solo descoberto, ou seja retirada a cobertura vegetal nessa unidade.

#### **CONCLUSÕES:**

A metodologia utilizada associando uso do SIG e práticas de geoprocessamento mostrou-se adequada ao estudo da vulnerabilidade ambiental, alcançando resultados coerentes com a realidade local, pois, onde foram identificados a ocorrência de solos e compartimentos mais frágeis e problemáticos em função do relevo, gradiente textural, maior declividade e menor grau de cobertura vegetal, estes se encaixaram nas classes de vulnerabilidade alta, muito alta ou extremamente alta.

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- ANA 2007 Agencia Nacional de águas, superintendência de informações Hidrológicas – SIH - Hidro **Sistema de informações Hidrológicas**, [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)
- BATJES, N.H. and E.M. BRIDGES. 1997, Implementation of a Soil Degradation and Vulnerability Database for Central and Eastern Europe. In: Proceedings of an international **workshop** (Wageningen, 1-3 October 1997), ISRIC, Wageningen, pp. iv + 81.
- BECKER, B. K.; EGLER, C.A.G. **Detalhamento da Metodologia Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**: Brasília, SAE-MMA. 1996.
- CALDERANO FILHO, B. **Análise geoambiental de paisagens rurais montanhosas da Serra do Mar utilizando redes neurais artificiais. Subsídios a sustentabilidade ambiental de ecossistemas frágeis e fragmentados sob interferência antrópica**. Rio de Janeiro 2012. 332 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2012.
- DONHA A. G.; SOUZA L. C. P.; SUGAMOSTO M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG R. **Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.10, n.1, p.175–181, 2006.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute, Inc.). **ArcMap 9.2. Redlands**, California, USA, 2006.
- GROOT, R.S. 1994. **Evaluation of environmental functions as a tool in planning management and decision making**. 1994. Ph.D. (Thesis), Part B. Agricultural University.

Waneningen. Netherlands.

**ISRIC & FAO Mapping of Soil and Terrain Vulnerability in Central and Eastern Europe.** International Soil Reference and Information Centre (ISRIC) assisted by the Land and Water Development Division (AGL) of FAO. CD of SOVEUR project (Versão.1.0). 2000.

KRUIJF, H. A. M.; SCHOUTEN, A. J. On problem of measuring vulnerability of soil ecosystems. In: DUIJVENBOODEN, W. Van, ed. **Vulnerability of soil and groundwater pollutants.** The Hague: W. Van, 1987. p. 97-109.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia,** São Paulo, n.8, p.3-74, 1994.

ROSS, J. L.S. Geomorfologia aplicada aos EIAs-RIMAs. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org). **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.291-336.

SILVA, V. C. B.& MACHADO, P. S. Procedimentos Metodológicos para Mapeamento das Classes de Susceptibilidade Erosiva da Bacia do Córrego Mutuca, Nova Lima (MG). In: XV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2013, Vitória/ES. **Anais,** 2013.

**Tabela 1 – Percentuais de ocorrência das classes de vulnerabilidade ambiental.**

Classes de Vulnerabilidade	Condições					Unidades ambientais	Área (ha)	%
	Relevo e Declive	Solos	Critérios	Vegetação e Cobertura	Rochosidade e Pedregosidade			
1 - Baixa (B)	Suave ondulado B - 3 a 8%	Latosolo e Argissolo Amarelo A proeminente, Neossolo fílvico, Cambissolo Fílvico e Latossolo Vermelho Amarelo A moderado. Solos com textura média, argilosos, média/argilosos ou muito argilosos.	Vulnerabilidade baixa, condicionada por risco ocasional de inundação e presença do lençol freático, próximo a superfície.	Vegetação original de floresta subperenifólia de várzea. Plantaio de fruticultura, capoeira, olerícolas, capoeira e flores ornamentais.	-	2	284,05	0,38
2 - Baixa a Moderada (B/M)	Plano A - 0 a 3%	Neossolo fílvico, Cambissolo fílvico e incluído de Gleissolo háplico. Solos com textura média, argilosos, média/argilosos ou muito argilosos.	Vulnerabilidade baixa a Moderada, condicionada por textura errática, presença de camadas orgânicas, risco de inundação e presença na superfície do lençol freático.	Vegetação original de floresta subperenifólia de várzea. Plantaio de olerícolas e capoeira.	-	1	247,38	0,51
3 - M Moderada (M)	Ondulado C - 8 a 14%	Latosolo Amarelo, Vermelho Vermelho Amarelo e Argissolo Amarelo A moderado, Latossolo Amarelo A proeminente. Solos com textura argilosa, argilosa / muito argilosa e média/argilosa.	Vulnerabilidade moderada, condicionada por declividade, presença ou não de gradiente textural e ligeira rochosidade e pedregosidade. Vegetação original de floresta tropical subperenifólia.	Vegetação original de floresta subperenifólia. Plantaio de fruticultura, olerícolas, pastagem e flores ornamentais.	ligeira	2	783,20	1,62
4 - A Alta (A)	Ondulado D - 14 a 20%	Latosolo Vermelho, Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho A moderado, Latossolo Amarelo A proeminente. Solos com textura argilosa, argilosa / muito argilosa e média/argilosa.	Vulnerabilidade alta, condicionada por declividade, textura do solo, ligeira rochosidade e pedregosidade. Vegetação original de floresta tropical subperenifólia.	Vegetação original de floresta subperenifólia. Plantaio de fruticultura, olerícolas, café e pastagem.	ligeira	3	1.558,47	3,22
5 - AMA Alta a muito alta (AMA)	Ondulado C - 14 a 20% a Forte ondulado E - 20 a 45%	Latosolo Amarelo húmico, Latossolo Vermelho e Vermelho Amarelo Argissolo Vermelho Amarelo e incluído de Cambissolo háplico A moderado e proeminente.	Vulnerabilidade alta a muito alta, condicionada por espessura do solum, textura, declividade, moderada rochosidade e pedregosidade e clima. Vegetação original de floresta tropical subperenifólia.	Vegetação original de floresta subperenifólia. Plantios de fruticultura floresta natural, olerícolas, pastagem e café.	moderada	4 5	18.426,11	38,01
6 - MA Muito alta	Forte ondulado E - 20 a 45%	Argissolo Vermelho abruptico e não Argissolo Vermelho Amarelo típico, latossólico e cámbico, fase rochosa e não, Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo A moderado e húmico e incluído de Cambissolo háplico.	Vulnerabilidade muito alta, condicionada por espessura do solum, textura, declividade, moderada rochosidade e pedregosidade árias com depósito de tillas e clima. Vegetação original de floresta tropical subperenifólia.	Vegetação original de floresta subperenifólia floresta natural plantios de fruticultura olerícolas, pastagem e café.	moderada	6 7 8 13 12	7.465,93	15,48
7 - MA/EA Muito alta a Extremamente alta	Forte ondulado E - 20 a 45% a Montanhoso F - > 45%	Latosolo Amarelo húmico, Latossolo Vermelho Amarelo fase rochosa, cambissolo háplico e húmico, afloramento de rocha e Argissolo Vermelho Amarelo.	Vulnerabilidade muito alta a extremamente alta, condicionada por declividade, espessura do solum e rochosidade abundante. Vegetação de floresta e campo rupestre.	e Vegetação original de floresta subperenifólia rala e campo rupestre. Pastagem e floresta.	abundante	9 10	15.091,10	31,13
8 - EA Extremamente alta	Montanhoso e Montanhoso a Escarpado F - > 45%	Afloramento de Rocha, Cambissolo háplico, Neossolo háplico, em menor proporção Argissolo Vermelho Amarelo e Latossolo Amarelo fílvico e húmicos.	Vulnerabilidade extremamente alta, condicionada por declividade, espessura do solum e rochosidade abundante. Vegetação de floresta e campo rupestre.	e Vegetação original de floresta subperenifólia rala e campo rupestre. Pastagem e floresta.	abundante	14 11	4.567,57	9,42
Água	-	-	-	-	-	-	15,19	0,03
<b>Total Geral</b>							<b>48.469,00</b>	<b>100,00</b>