

AVALIAÇÃO AMBIENTAL DA APA CORUMBATAÍ SEGUNDO CRITÉRIOS DE ERODIBILIDADE DO SOLO E COBERTURA VEGETAL

Susana Belén CORVALÁN ¹ & Gilberto José GARCIA ²

- (1) Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista / Campus de Rio Claro. Avenida 24A, 1515 – Bela Vista. CEP 135060-900. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: corvalansu@yahoo.com
- (2) Centro de Análise e Planejamento Ambiental (CEAPLA), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista / Campus de Rio Claro. Avenida 24-A, 1515 – Bela Vista. CEP 135060-00. Rio Claro, SP. Endereço eletrônico: gilberto@rc.unesp.br

Introdução
Caracterização da Área de Estudo
Material e Método
 Obtenção e Processamento dos Dados
 Uso da Terra e Cobertura Vegetal
 Método de Análise Multicritério
 Avaliação e Ponderação dos Fatores para Determinação da Vulnerabilidade Ambiental
 Distância aos Recursos Hídricos
 Declividade
 Erodibilidade do Solo
 Geologia
 Geomorfologia
 Cobertura Vegetal
Resultados e Discussões
Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal
Avaliação das Propostas de Vulnerabilidade Ambiental
Conclusões e Considerações Finais
Referências Bibliográficas

RESUMO – O objetivo do presente foi avaliar a Vulnerabilidade Ambiental da APA Corumbataí, segundo uma análise multicritério, em ambiente SIG, visando o ordenamento do uso e cobertura vegetal. Os fatores definidos foram: distância dos recursos hídricos, erodibilidade do solo, declividade, geologia, geomorfologia e cobertura vegetal. Segundo a influência que cada um dos fatores apresenta no processo de avaliação da vulnerabilidade, eles foram ponderados por meio do interpolador Media Ponderada, no SIG. Esse procedimento culminou em duas propostas de mapas de Vulnerabilidades Ambientais: tendo como fator determinante a cobertura vegetal, no primeiro caso, e a erodibilidade do solo, no segundo. A avaliação comparativa dos dois modelos evidenciou situações bastante homogêneas, embora a ponderação tenda a uma análise subjetiva. Em ambas as propostas, a ocorrência das classes se apresentou na seguinte ordem, de maior a menor frequência: Alta, Média, Muito Alta e Baixa vulnerabilidade; a classe Muito Baixa foi inexpressiva. A segunda proposta apresentou valores mais representativos das classes alta e muito alta, e por ser uma propriedade intrínseca dos solos e estática quando comparada com a dinâmica de uso e cobertura vegetal, entende-se como a melhor opção quanto a escolha dos modelos trabalhados para a área estudada. **Palavras-chave:** Vulnerabilidade Ambiental, APA Corumbataí, SIG, Análise Multicritério.

ABSTRACT – *S.B. Corvalán & Gilberto Jose Garcia - Environmental assessment of criteria APA Corumbataí soil erodibility and vegetation cover.* Using the EPA – Corumbataí (Environmental Protection Area) as test site, the main objective was the evaluation of its Environmental Vulnerability, through the use of multi-criteria analysis methods in a GIS environment, aiming to land use/land cover planning. The variables selected to be used in the models were distance to water, soil erodibility, slope gradient, geological, pedological and geomorphological aspects and vegetative cover.

These variables were evaluated considering the vulnerability criteria and these parameters were combined according to the Weighted Average, in a GIS system. This procedure offered two proposals of environmental vulnerability maps; one considering the vegetative cover as the determinant factor and the other the soil erodibility. A comparative evaluation of the two models showed very homogeneous situations, although the weighting average tends to a subjective analysis. In both proposals, the occurrence of the classes was presented in the following order, from highest to lowest frequency: High, Medium, Very High and Low vulnerability and the class Very Low was considered negligible. The second proposal which used the soil erodibility, showed more representative values of High and Very High classes. Since the soil erodibility is considered an intrinsic and static property of the soil when compared to the dynamic land use/land cover, it was understood that it is the best option to be used.

Keywords: Environmental Vulnerability, EPA Corumbataí, Multi-Criteria Analysis.

INTRODUÇÃO

A Área de Proteção Ambiental (APA) é uma categoria de Unidade de Conservação que visa proteger elementos naturais, de importância ecológico-paisagística, inseridos em contexto de ocupação humana. No caso do perímetro da APA Corumbataí, sua criação justifica-se pela presença de cuevas basálticas, consideradas de grande fragilidade ambiental, e por apresentar áreas ocupadas por vegetação remanescente, que devem ser preservadas. Esse cenário vem marcado pela crescente expansão urbana, pela presença das monoculturas de cana de açúcar e pastagem, pelo expressivo aumento da citricultura e pela existência de grandes áreas com plantios comerciais de *Eucalyptus* e *Pinus*.

Segundo Garcia (2008), as diversas formações florestais originais foram substituídas pela cafeicultura e as ferrovias com máquinas a vapor e as numerosas olarias e serrarias do século XIX teriam sido responsáveis pelo desaparecimento dessa vegetação na região, da qual existem, hoje, apenas vestígios. O cerrado se estendia em épocas passadas no norte da região, sendo hoje representado por manchas isoladas em função das ações antrópicas como pecuária, extrativismo, fogo e abate seletivo que vem ocorrendo há pelo menos 100 anos (Pagano et al., 1989), sendo que muitas áreas de cerrado cederam espaço aos reflorestamentos incentivados de *Eucalyptus sp* (Cavassan, 1990).

Com a crescente demanda por recursos naturais, e sua conseqüente diminuição, faz-se necessário estudos e planejamentos que maximizem a manutenção desses recursos. Nesse contexto, o planejamento da ocupação territorial do ambiente pelo homem tem sido foco principal para a implantação de técnicas e políticas que possam discipliná-la. Pesquisas voltadas ao planejamento e gestão ambiental visam à análise dos recursos naturais, conforme sua vulnerabilidade (ou fragilidade), sendo que esses componentes devem ser avaliados de maneira integrada, sem deixar de

considerar as intervenções antrópicas modificadoras dos ambientes naturais.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e o Sensoriamento Remoto surgem como ferramentas fundamentais no manejo dos recursos naturais e no planejamento ambiental, auxiliando na análise integrada das variáveis do meio físico, tornando o planejamento uma atividade mais dinâmica, eficiente e simplificada. A análise multicritério, uma das técnicas empregadas para tomada de decisão, e incorporada aos Sistemas de Informação Geográfica é considerada um avanço em relação ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação para a priorização de áreas.

Algumas iniciativas referentes ao uso de mapas de Vulnerabilidade Ambiental como ferramentas de gestão foram abordadas por Donha et al. (2003), Donha et al. (2006), Moreno (2007) e Nobre (2008). Tais mapas permitem a identificação dos ambientes naturais e suas vulnerabilidades proporcionando uma melhor definição de diretrizes e ações a serem implantadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território.

O presente artigo pretende abordar essa questão, possibilitando o mapeamento de áreas ambientalmente vulneráveis mediante análise multicritério, em ambiente SIG, avaliando duas propostas concretas de mapas de Vulnerabilidade Ambiental utilizando-se, como determinantes, os fatores Cobertura Vegetal e Erodibilidade do Solo. Sendo a área de estudo uma APA com jurisdição de vários municípios, submetida a intenso uso antrópico (com a conseqüente demanda dos recursos naturais) e pela limitação de informações atuais georreferenciadas, a realização deste trabalho assume particular importância, já que determinando as vulnerabilidades, identificam-se informações sobre os usos e características das áreas de maior risco, decorrentes do processo de ocupação.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A APA Corumbataí está localizada no centro-leste do Estado de São Paulo, compreendida entre os paralelos 22°00' e 22°40' de latitude Sul e 47°30' e 48°30' de longitude Oeste, ocupando 272.692 ha. Inclui terras dos municípios de São Carlos, Analândia, Brotas, Itirapina, Corumbataí, Ipeúna, Rio Claro, Dois Córregos, Torrinha, Mineiros do Tietê, Barra Bonita, Santa Maria da Serra, São Pedro, Charqueada e São Manuel (Ilha do Cerrito) (Figura 1).

A região é amplamente conhecida pelas suas

atividades ecoturísticas (Zaine, 1996; Pereira & Gonçalves, 2004; Amorim et al., 2005; Corvalan et al., 2007) dadas pela beleza cênica, apresentando inúmeros atrativos naturais como cachoeiras, corredeiras e saltos, das serras de Itaquerí e São Pedro, morros testemunhos, grutas, represas, áreas de remanescente de flora, entre outros.

Geologicamente, a APA Corumbataí localiza-se no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná e apresenta litologias que datam

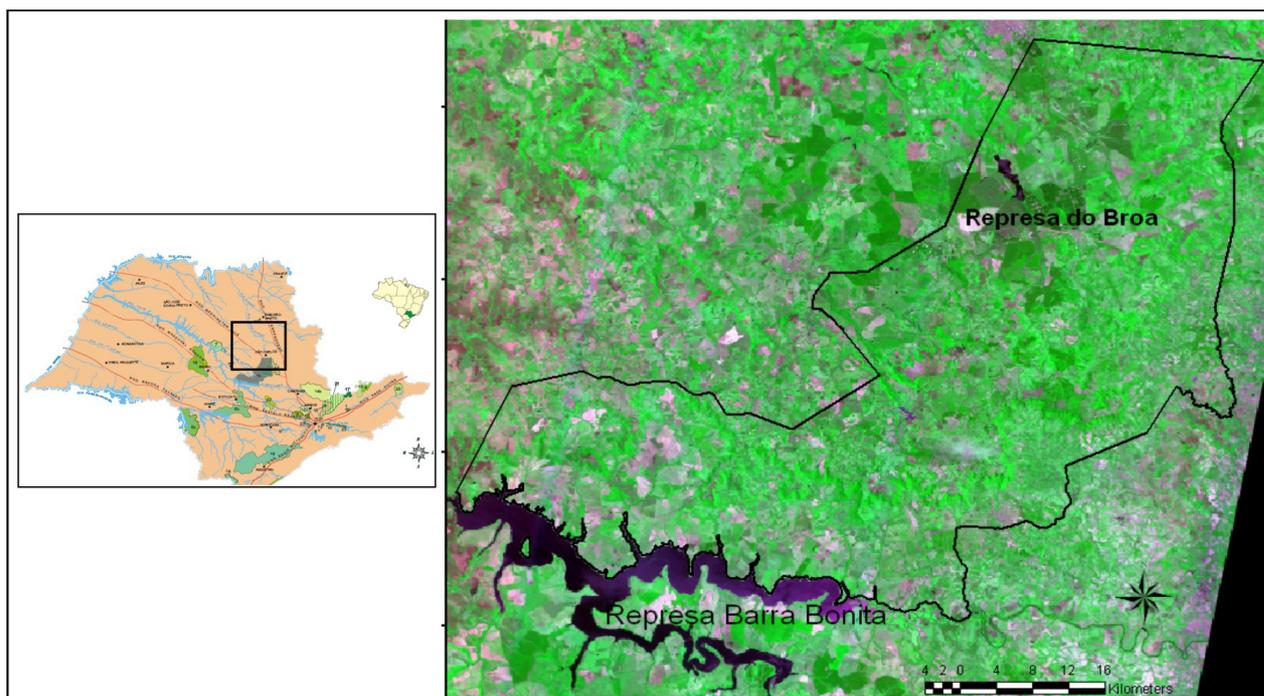


FIGURA 1. Localização da APA Corumbataí na imagem CCD/CBERS-2, bandas 342-RGB correspondente à passagem do dia 31 de Outubro de 2006. A vegetação natural exibe cor verde claro e as áreas urbanas e solo exposto apresentam cor magenta a cian.

do Paleozóico (Formação Corumbataí), Mesozóico (Grupo São Bento: Formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral e Intrusivas Básicas Associadas) e Cenozóico (Formações Itaquerí, Rio Claro e Sedimentos Aluvionais Quaternários), conforme Almeida et al. (1981).

A área de estudo está inserida nas províncias Depressão Periférica e Cuesta Basáltica (Almeida, 1964; Ponçano et al., 1981), compartimentadas na área em foco como Depressão Médio-Tiete e Planalto Itaquerí. Apresenta um relevo muito diversificado, com colinas de 550 a 650 m de altitude; contudo ocorrem áreas com altitudes superiores a 1.000 m, podendo a amplitude *altimétrica*, atingir os 400 m. As serras

apresentam escarpas e festões das cuestas arenito-basálticas, com altas declividades e drenagem densa e entalhada, representando algumas formas de relevo residual, como o Morro do Bizigueli, Morro da Guarita e Morro do Baú.

Segundo a classificação da EMBRAPA (1999), a ocorrência de solos pertence às ordens: Latossolo, Argissolo, Neossolo, Gleissolo, Nitossolo e Organossolo.

O clima predominante na região, segundo o sistema de Köppen é do tipo Cwa, com inverno seco e verão chuvoso, com uma passagem gradual entre os dois períodos (Zavatini & Cano, 1993). Verifica-se que as temperaturas médias anuais variam entre 18°C e 22°C (Monteiro, 2000).

MATERIAL E MÉTODO

OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Foram utilizadas cartas topográficas do IBGE, em formato digital, escala 1:50.000, no *datum* Córrego Alegre e na projeção UTM, que serviram como base cartográfica para a demarcação da APA, e para obtenção das informações correspondentes a represas e cursos d'água, gerando os mapas: limite e rede de drenagem respectivamente. Por outro lado, trabalhou-se com informações temáticas preexistentes, correspondentes à geologia, geomorfologia e pedologia.

Para a elaboração do mapa Uso da Terra e Cobertura Vegetal foi utilizada a imagem correspondente ao satélite CCD/CBERS-2, referentes à órbita ponto 156/125, passagem de 31 de Outubro de 2006, obtidas gratuitamente no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Utilizou-se o programa computacional de geoprocessamento SPRING-versão 4.3.3 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), de acesso gratuito, onde foi criado, armazenado,

manipulado e gerenciado o Banco de Dados Geográfico (BDG) e executadas as funções de processamento de imagens e álgebra de mapas.

Foram realizadas saídas de campo expeditivas, analisando e avaliando os diferentes usos e estado de conservação da APA, proporcionando uma visão geral do uso atual e permitindo a identificação de zonas de maior pressão antrópica.

A escala de trabalho adotada e, compatível com a maioria dos dados preexistentes foi de 1:100.000 (Almeida et al., 1981; Oliveira et al., 1984; Oliveira & Prado, 1989). Porém foi preciso readequar alguns mapas temáticos que se encontravam em escala 1:500.000 (Oliveira et al., 1999; Almeida et al., 1981; Ponçano et al., 1981), além de uma reclassificação das unidades pedológicas para a nova classificação brasileira (EMBRAPA, 1999).

No caso da Geologia da área, trabalhou-se, inicialmente, com o mapa geológico de Almeida et al. (1981), em escala 1:500.000, já digital, tendo sido utilizado como base para os trabalhos de fotointerpretação da banda 4 do CCD/CBERS-2, de acordo com o método proposto por Soares & Fiori (1976) e adaptado por Veneziani & Anjos (1982), resultando no mapa de Unidades Geológicas, sendo um arquivo vetorial no BDG, em ambiente SIG. Igualmente para a Pedologia e Geomorfologia foi aplicado o mesmo procedimento aos seguintes mapas: pedológico de Oliveira et al. (1999) e ao geomorfológico de Ponçano et al. (1981).

USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL

O mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal foi elaborado pela análise interpretativa de imagens de satélite. Para facilitar a discriminação dos alvos realizou-se o pré-processamento da imagem (expansão de contraste) e trabalhou-se com composições coloridas 342 RGB e 432 RGB, sendo que essas composições coloridas auxiliam na identificação dos diferentes usos e cobertura da terra.

O mapa foi obtido a partir de uma classificação não supervisionada e as categorias identificadas foram: cana de açúcar, mata (Floresta Estacional Semidecidual e mata ciliar), reflorestamento (*Pinus* e *Eucaliptus*), solo exposto, área urbana, pastagem, cerrado, cultura anual (milho, sorgo, mandioca), cultura perene (café, citrus), água, mineração e outros (não identificadas).

MÉTODO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO

Esse método baseia-se na análise ponderada dos parâmetros do meio físico (fatores), conforme a capacidade dos recursos naturais de resistir à degradação. Nesse contexto, foram trabalhados os fatores Geomorfologia, Geologia, Erodibilidade do Solo,

Cobertura Vegetal, Distância dos Recursos Hídricos e Declividade. Para poder tornar-los comparáveis, os fatores foram reduzidos para uma escala contínua de vulnerabilidade, que oscila entre 1 (menos vulnerável) e 10 (mais vulnerável), segundo os intervalos apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Classes de vulnerabilidade e seu correspondente grau de classificação.

Grau de Vulnerabilidade	Intervalos de Classificação (Vulnerabilidade)
1 - 2	Muito baixa
3 - 4	Baixa
5 - 6	Média
7 - 8	Alta
9 - 10	Muito alta

A ponderação dos fatores é feita pela influência que cada um representa no processo de avaliação da vulnerabilidade, atribuindo para isso, a cada um deles, um peso que indica o seu grau de contribuição. Esses pesos podem ser obtidos por consenso técnico, revisão bibliográfica de trabalhos elaborados na área ou por uso de técnicas específicas, como a técnica de comparação pareada. No presente trabalho, a atribuição de pesos para cada um dos fatores foi feita segundo pesquisas de trabalhos desenvolvidos na área de Vulnerabilidade Ambiental, como os de Donha et al. (2003), Donha et al. (2006), Moreno (2007) e Nobre (2008).

Os mapas de vulnerabilidade foram obtidos através do cruzamento de mapas de fatores, por meio do interpolador Média Ponderada, em linguagem Legal, no SPRING.

O resultado foi a geração de duas propostas de Vulnerabilidade Ambiental, originadas segundo a ponderação dos fatores, sendo que a primeira proposta considera a Cobertura Vegetal como fator determinante, e, a segunda, considera como fator determinante a Erodibilidade do Solo. Obteve-se então, para cada modelo, um plano de informação (PI) numérico e uma grade retangular, que logo foi segmentado para a geração das cinco classes de Vulnerabilidade Ambiental consideradas: Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito Baixa.

Através da máscara limite da APA realizou-se o recorte dos mapas de Vulnerabilidade Ambiental, obtendo assim um mapeamento com distribuição contínua de vulnerabilidade. Finalmente, foi realizada uma análise comparativa entre os dois modelos de Vulnerabilidade Ambiental.

AVALIAÇÃO E PONDERAÇÃO DOS FATORES PARA DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Distância aos Recursos Hídricos

A partir da rede de drenagem definiu-se o fator Distância dos Recursos Hídricos, o qual foi trabalhado da seguinte forma: rios de até 10 m de largura, representados por traço simples, conformam o PI Distância das APPs 30 m, rios entre 10 a 30 m de largura, representados por traço duplo e a represa do Jacaré-Pepira, conformam o PI Distância das APPs 50 m, a represa do Lobo (Broa) e a margem direita da represa de Barra Bonita conformam o PI Distância das Represas, e, finalmente, as nascentes, formam ainda outro PI, Distância das Nascentes, sendo que para sua demarcação foram digitalizados 1.848 pontos, de modo que cada início de rio foi considerado área de nascente. Para a elaboração, foram geradas grades regulares de distância das nascentes (a partir de pontos) e de distância das Represas, das APPs 50 m e das APPs 30 m (a partir de linhas), usando o interpolador vizinho mais próximo, com *pixel* de 20 m.

Em seguida, cada mapa foi segmentado em cinco intervalos, representando cada um as classes: Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito Baixa Vulnerabilidade Ambiental, considerando que quanto mais próximo do corpo de água, maior será a vulnerabilidade. Cabe ressaltar que os valores mínimos dos intervalos (classe Muito Alta) se correspondem com os valores de faixa mínima de mata ciliar, explicitada por lei, e os valores máximos dos intervalos (classe Muito Baixa) se correspondem com os valores de cota máxima, obtidos das grades de cada um dos mapas.

Através da função *buffer*, no SIG, foram definidas cinco zonas de exposição, da seguinte forma: o primeiro intervalo corresponde às áreas de APPs (classe Muito Alta), e a partir desse valor foram adicionados 150 m no segundo intervalo, 100 m no terceiro, 50 m no quarto e o quinto e último intervalo, foi formado a partir deste valor até a cota máxima da grade, correspondente a classe Muito Baixa (Tabela 2).

Declividade

Pelo fato da declividade ter relação direta no processo erosivo de perda de solo por erosão, já que, quanto maior o gradiente do declive, maior a intensidade de escoamento das águas sob efeito da gravidade, sendo por tanto, menor o tempo disponível para a infiltração no solo. Nesse contexto, a declividade é essencial para uma avaliação de risco à erosão. Estabelece-se então que quanto maior for a declividade, maior será a influência no processo erosivo, e pelo tanto, maior a vulnerabilidade.

Para a elaboração do mapa de Declividade,

utilizaram-se curvas de nível e pontos cotados, gerando uma grade triangular de altimetria, e, a partir desta, uma grade regular. Em seguida, foi gerada uma grade de declividade, que foi segmentada em cinco intervalos, cada um deles associado a uma classe de vulnerabilidade (Muito Alta, Alta, Média, Baixa, Muito Baixa).

Para se estabelecer as classes de declividade foram utilizados intervalos já consagrados nos estudos de capacidade de uso/aptidão agrícola. Posteriormente, as classes de declividade forma ponderadas em cinco categorias, como indica a Tabela 3.

Erodibilidade do Solo

Cada classe de solo foi ponderada segundo sua capacidade de resistir à erosão, de acordo com valores de erodibilidade de Lombardi Neto & Bertoni (1975), Bertoni & Lombardi Neto (1990), Moretti (2001) e Mannigel et al. (2002). No caso de ocorrência de associações de solos, o solo predominante foi considerado a base para a atribuição do grau de erodibilidade (vulnerabilidade).

A textura foi determinante na hora de ponderar solos pertencentes à mesma classe, já que, de forma geral, os de textura arenosa são solos mais suscetíveis à erosão que aqueles de textura argilosa, pois as partículas finas de areia possuem menor poder agregante e são mais facilmente arrastáveis pelas águas da enxurrada.

Os Neossolos Quartzarênicos são formados de materiais bastante arenosos, o que lhes confere alta vulnerabilidade à erosão, tendo recebido valor 8. Analogamente, para todas as outras classes de solos, foram atribuídos valores de vulnerabilidade (Tabela 4).

Geologia

O grau de coesão das rochas é a informação básica utilizada para a definição de valores que representem maior estabilidade ou vulnerabilidade. Assim, os processos de intemperismo e formação de solos prevalecem nas rochas mais coesas, e os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese) prevalecem nas rochas menos coesas. As diferenciações litológicas implicam vulnerabilidade diferenciada, e, a partir dela, foram conferidos graus também diferenciados, baseados nos valores de estabilidade das rochas, conforme proposto por Crepani et al. (1996).

A base, onde ocorre a Formação Serra Geral está constituída por magmatitos básicos, sendo rochas que apresentam boa resistência à erosão. Os arenitos são mais permeáveis e friáveis que os siltitos, portanto mais facilmente intemperizáveis. Esse material lhes confere

esculturação relativamente fácil e formas mais suaves. Os siltitos e folhelhos, quase impermeáveis, proporcionam maior escoamento superficial e, conseqüentemente, maior erosão, causando intenso ravinamento, que ao aprofundar-se formam escarpas e encostas declivosas, características dessas superfícies. No caso, as unidades geológicas da área de estudo estão representadas em ordem crescente de vulnerabilidade da seguinte forma: Magmáticas (Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas Associadas), Arenitos (Formações Pirambóia e Botucatu), Pelitos (Formações Itaqueri e Corumbataí) e Coberturas Cenozóicas (Formação Rio Claro e Sedimentos Aluvionais Inconsolidados) (Tabela 5).

Geomorfologia

Foram analisados os processos erosivos nos diversos tipos de relevo, a partir da análise da forma dos topos e vertentes, considerando-se o processo genético atuante (erosão ou acumulação) de acordo com um nível de base regional. Além disso, foram considerados os tipos de vales, parâmetros morfométricos das formas de relevo e drenagem e sua dinâmica de evolução. Baseado nesses quesitos, foram ponderados valores de vulnerabilidade às classes geomorfológicas do mapa temático.

A classe Escarpas Festonadas, por apresentar as declividades mais altas na região (acima de 30%), drenagem de alta densidade e vales fechados, recebeu o valor 10, ou seja, muito alta vulnerabilidade. Já as

Planícies Aluviais, por ser terrenos caracteristicamente muito baixos e sujeitos a inundações, teve o valor 2, de muito baixa vulnerabilidade. O restante das classes Geomorfológicas ponderadas estão visualizadas na Tabela 6.

Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. Dessa forma, a copa das árvores e arbustos, em diferentes alturas, protege o solo do impacto direto das gotas das chuvas, enquanto as folhas mortas, galhos secos e matéria orgânica em vários estádios de decomposição e com abundância de organismos o mantém poroso (pela ação das raízes), com estrutura ideal para absorver grandes quantidades de água.

Nesse contexto, as classes do mapa Uso da Terra e Cobertura Vegetal foram ponderadas de acordo ao grau de proteção (densidade) conferida ao solo, assumindo que os solos com cobertura vegetal original de Floresta Estacional Semidecidual oferecem proteção máxima contra o impacto das gotas de água de chuva, recebendo o valor 2; em contraposição, as áreas de solo exposto são muito vulneráveis devido à ausência total de proteção, recebendo 10 como valor de ponderação.

Na Tabela 7, encontram-se as classes de Cobertura Vegetal ponderadas segundo o grau de proteção do solo, considerando que esta é inversamente proporcional à vulnerabilidade da área.

TABELA 2. Ponderação do fator Distância aos Recursos Hídricos.

Planos de Informação	CLASSE DE VULNERABILIDADE				
	Muito Alta	Alta	Média	Baixa	Muito Baixa
Distância Nascentes	(0 - 50)	(50 - 200)	(200 - 300)	(300 - 350)	(350 - 48.583)
Distância Represas	(0 - 100)	(100 - 250)	(250 - 350)	(350 - 400)	(400 - 58.627)
Distância APPs 50 m	(0 - 50)	(50 - 200)	(200 - 300)	(300 - 350)	(350 - 69.948)
Distância APPs 30 m	(0 - 30)	(30 - 180)	(180 - 280)	(280 - 330)	(330 - 42.035)

TABELA 3. Intervalos de declividade, grau e classes de vulnerabilidade.

Declividade (%)	Grau	Classe de Vulnerabilidade
> 30	9	Muito alta
20 - 30	7	Alta
12 - 20	5	Média
5 - 12	3	Baixa
0 - 5	1	Muito baixa

TABELA 4. Classes de solos presentes na área, ponderados segundo a sua vulnerabilidade.

SOLOS	Grau	Classe de Vulnerabilidade
Gleissolo	8	
Organossolo	8	
Neossolo Quartzarênico	8	
Neossolo Litólico		
RL ₁ textura média	8	
RL ₂ textura argilosa	7	
RL ₃ textura indiscriminada	7,5	
Argissolo Vermelho-Amarelo		Alta
PVA ₁ textura arenosa/média	8	
PVA ₂ textura arenosa/média ou média/ argilosa	7,8	
PVA ₃ textura média/argilosa ou arenosa/média	7,2	
PVA ₄ textura média ou arenosa/média	7,6	
PVA ₅ textura média ou média/argilosa	7,4	
PVA ₆ textura média/argilosa fase pedregosa	7,1	
PVA ₇ textura argilosa ou média/argilosa	7	
Nitossolo Vermelho		
NV textura argilosa ou muito argilosa	6	
Latossolo Vermelho		
LV textura média	6	
LV textura argilosa	5,5	
LV distrófico textura argilosa a muito argilosa	5	Média
LV eutrófico textura argilosa a muito argilosa	5	
Latossolo Vermelho-Amarelo		
LVA ₁ textura média	5,6	
LVA ₂ textura argilosa ou média	5,8	
LVA ₃ textura muito argilosa ou argilosa	6	

TABELA 5. Unidades Geológicas, segundo a sua vulnerabilidade.

Unidades Geológicas	Grau	Classe de Vulnerabilidade
Sedimentos Aluvionais Quaternários	10	Muito alta
Formação Rio Claro	9	
Formação Corumbataí	8	Alta
Formação Itaquerí	8	
Formação Pirambóia	6	Média
Formação Botucatu	5	
Formação Serra Geral	2	Muito baixa

TABELA 6. Unidades de relevo ponderadas segundo a sua vulnerabilidade.

Unidades de Relevo	Grau	Classe de Vulnerabilidade
Escarpas Festonadas	10	Muito alta
Encostas com Cânions Locais	9	
Encostas sulcadas por Vales Subparalelos	8	Alta
Morrotes Alongados e Espigões	7	
Morros Arredondados,	6	Média
Mesas Basálticas	5	
Colinas Médias	4	Baixa
Colinas Amplas	3	
Planícies Aluviais	2	Muito baixa

TABELA 7. Classes de Cobertura Vegetal, grau e classe de vulnerabilidade.

Cobertura Vegetal	Grau	Classe de Vulnerabilidade	Proteção do solo à chuva
Solo exposto	10	Muito Alta	Muito Baixa a Nula
Mineração	9		
Cultura anual	8	Alta	Baixa
Cultura perene	8		
Cana de açúcar	7		
Pastagem	5	Média	Média
Cerrado	4	Baixa	Alta
Reflorestamento	3		
Mata	2	Muito Baixa	Muito alta

RESULTADOS E DISCUSSÕES

MAPA DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL

A Figura 2 apresenta o mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal, de acordo as classes: mata, cerrado, floresta plantada, cultura anual, cultura perene, cana de açúcar, solo exposto e mineração. A Figura 3 apresenta o a porcentagem de cada classe.

O cultivo de cana de açúcar é a classe predominante e encontra-se localizada, principalmente, no centro da APA e ao sul das serras de Itaquerí e São Pedro. Identificaram-se também, pequenas ocorrências no alto (platô) (Figura 4). A mata encontra-se localizada principalmente, nas encostas das serras e nos cursos de água (embora haja presença de grandes áreas desmatadas) (Figura 5). Visualiza-se a pastagem na base das encostas serranas, substituindo áreas originais ocupadas por mata (Figura 6). A cultura perene está representada principalmente na APA por plantios de laranja (citricultura) e café, e predomina no município de Itirapina (Figura 7). A cultura anual encontra-se distribuída por toda a região (Figura 8). As áreas de

reflorestamento, representada por *Pinus* e *Eucaliptus* encontram-se ao longo de rios, base de serras, na margem da estrada SP-255, no município de Itirapina (Figura 9). Encontram-se manchas esparsas de cerrado, nas proximidades de Itirapina (Estação Ecológica), no morro Pelado (morro testemunho), nas margens da Rodovia Ulisses Guimarães e na estrada Itirapina-Itaquerí da Serra.

AVALIAÇÃO DAS PROPOSTAS DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

A aplicação do método multicritério resultou na confecção de dois mapeamentos diferenciados de vulnerabilidade, com o intuito de escolher o mais representativo, sendo que esses modelos poderão auxiliar no subsidio ao planejamento estratégico ambiental.

Para facilitar a discussão, a primeira proposta de vulnerabilidade, obtida por meio da análise, que teve como fator determinante a Cobertura Vegetal, será chamada de VA1, e, a segunda proposta, obtida por

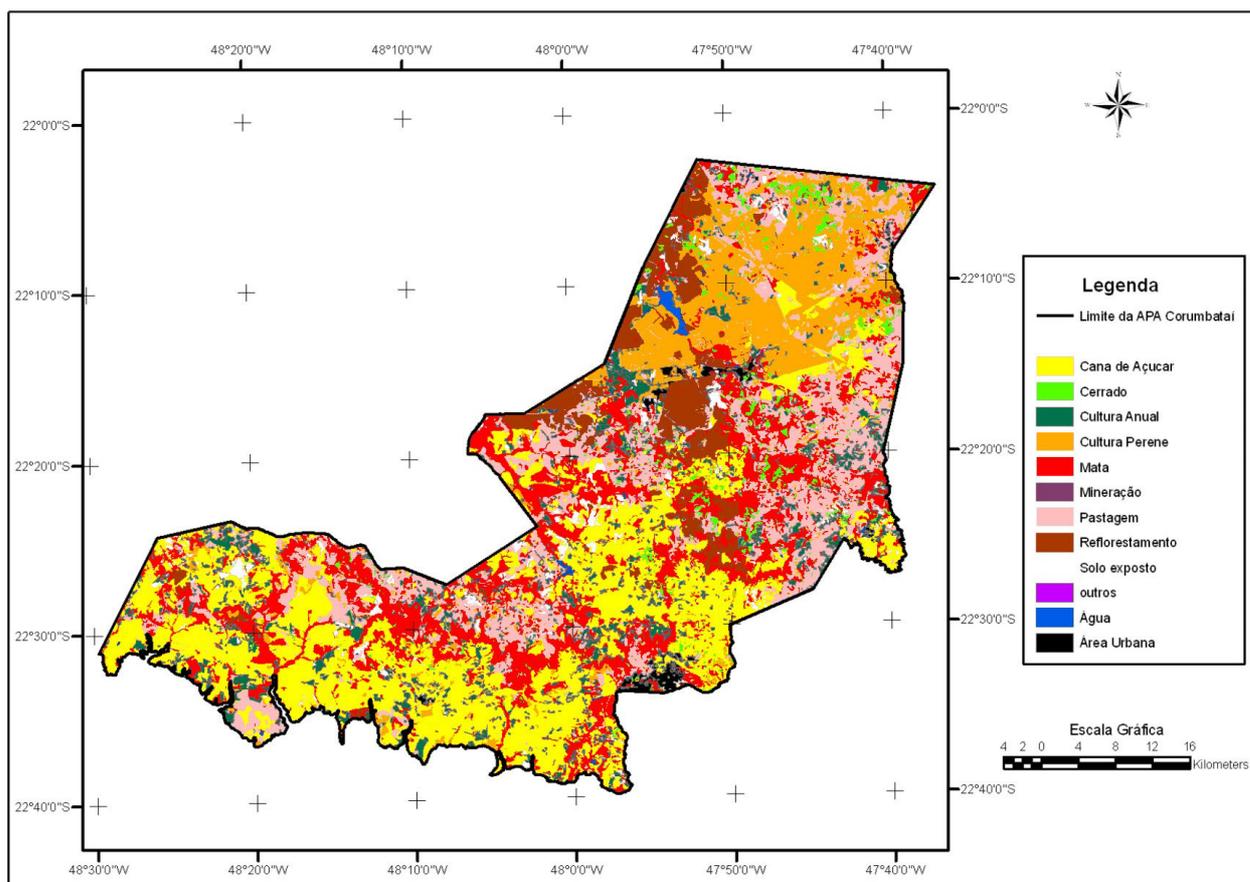


FIGURA 2. Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal da APA Corumbataí.

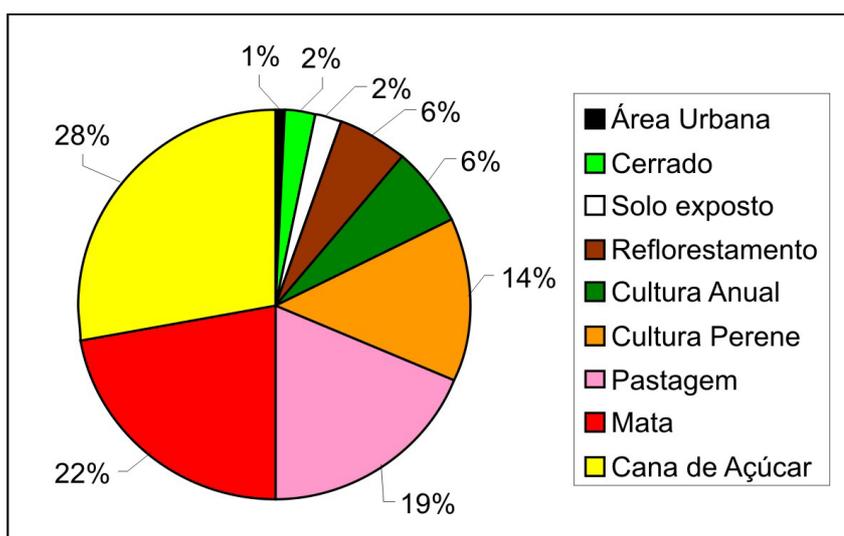


FIGURA 3. Gráfico de porcentagem de ocorrência das classes do mapa Uso da Terra e Cobertura Vegetal.



FIGURA 4. Terras preparadas para cultivo de cana de açúcar, às margens da rodovia São Pedro-Itirapina.

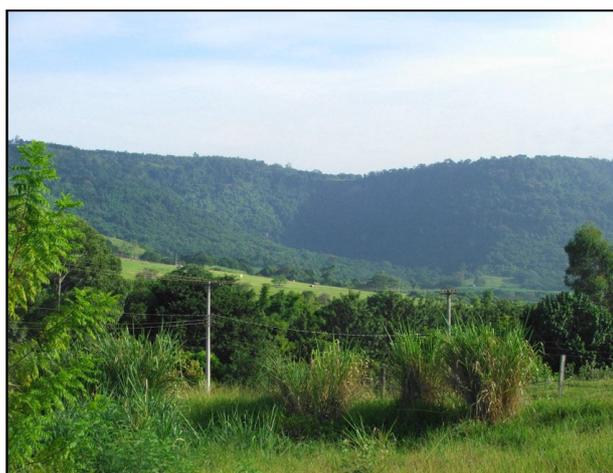


FIGURA 5. Floresta Estacional Semidecidual nas encostas da Serra de Itaquerí.



FIGURA 6. Foto panorâmica da Serra de Itaquerí.



FIGURA 7. Plantio de citros no município de Itirapina, às margens da Rodovia SP-225.



FIGURA 8. Plantio de milho no município de Ipeúna, às margens da antiga estrada Rio Claro-Ipeúna.

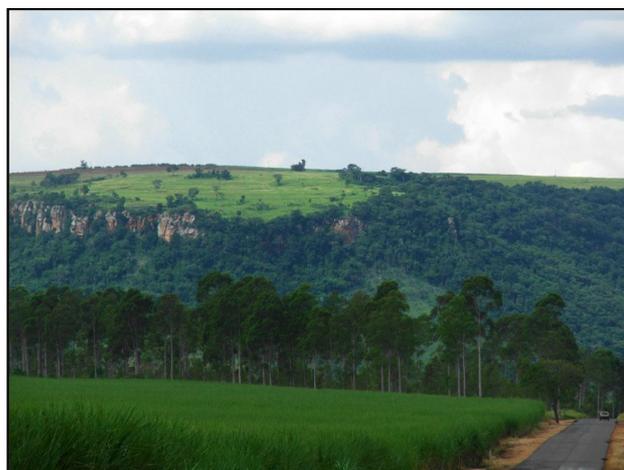


FIGURA 9. Plantio de *Eucaliptus*. No fundo, a serra do Tabuleiro, no município de Santa Maria da Serra.

meio da análise, que teve como fator determinante a Erodibilidade do solo, será chamada de VA2. Os pesos atribuídos aos fatores visualizam-se na Tabela 8. Os intervalos e sua distribuição visualizam-se na Figura 10. O mapeamento de ambas as propostas visualiza-se na Figura 11.

Após a aplicação do método multicritério, e tendo como base a análise comparativa dos casos propostos, algumas considerações importantes podem ser feitas em relação aos mapas de Vulnerabilidade Ambiental:

- Em ambas as propostas, as classes apresentam uma distribuição espacial relativamente semelhante, na seguinte ordem de ocorrência: Alta, Média, Muito Alta e Baixa. A classe Muito Baixa praticamente não foi observada, pelo qual foi desprezada da análise.
- As classes Alta e Muito Alta da proposta VA2 apresentaram um incremento de área relativo à

proposta VA1, de 3% e 7% respectivamente. Nas classes Média e Baixa da proposta VA2 houve uma diminuição de área, relativo à proposta VA1, de 2% e 8% respectivamente.

Em virtude do procedimento de análise adotado, os mapas de vulnerabilidade ambiental, gerados conforme a ponderação dos fatores atuantes são reflexos do processo de interpretação da vulnerabilidade ambiental por parte dos planejadores, pois o peso dado aos fatores intervenientes é produto de uma análise subjetiva que requer o conhecimento do processo envolvido. Um exemplo disso é bem explicitado na região que abrange o município de Itirapina, onde, na proposta VA1, está representada, em quase toda a sua totalidade, pela classe Baixa, que tem como característica, além de mata, presença de áreas de reflorestamento, ou seja, coberturas que oferecem alta proteção ao solo e que foram ponderadas como de muito baixa

TABELA 8. Ponderação dos fatores.

FATORES	PESO	
	VA1	VA2
Declividade	0,14	0,14
Erodibilidade do Solo	0,15	0,24
Geologia	0,11	0,11
Geomorfologia	0,14	0,21
Cobertura Vegetal	0,30	0,14
Distância das APPs 30m	0,04	0,04
Distância das Nascentes	0,05	0,05
Distância das Represas	0,03	0,03
Distância das APPs 50m	0,04	0,04

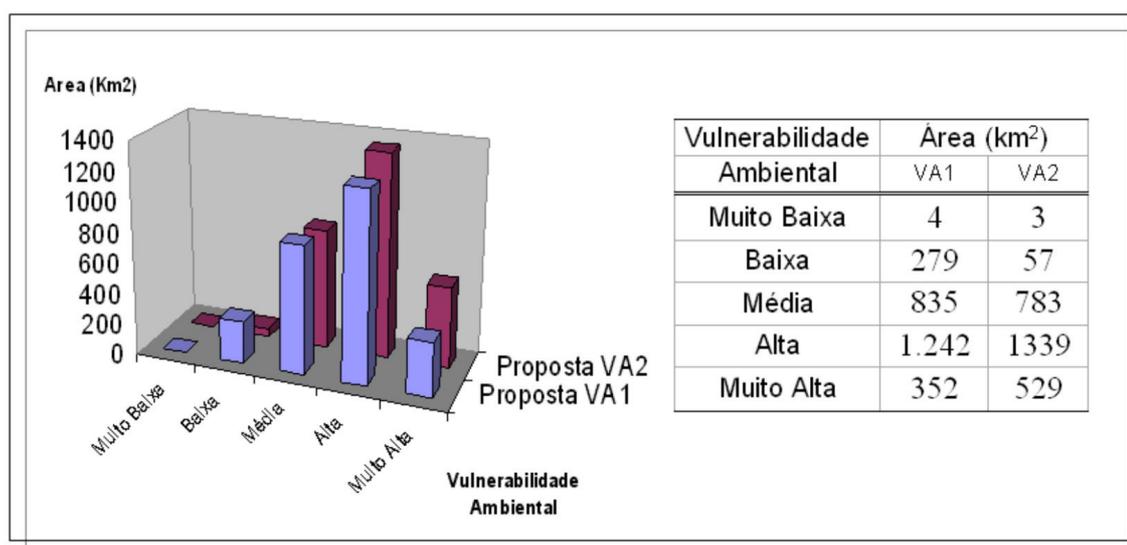


FIGURA 10. Gráfico correspondente à distribuição das classes de Vulnerabilidade Ambiental, segundo as propostas de ambos os modelos analisados.

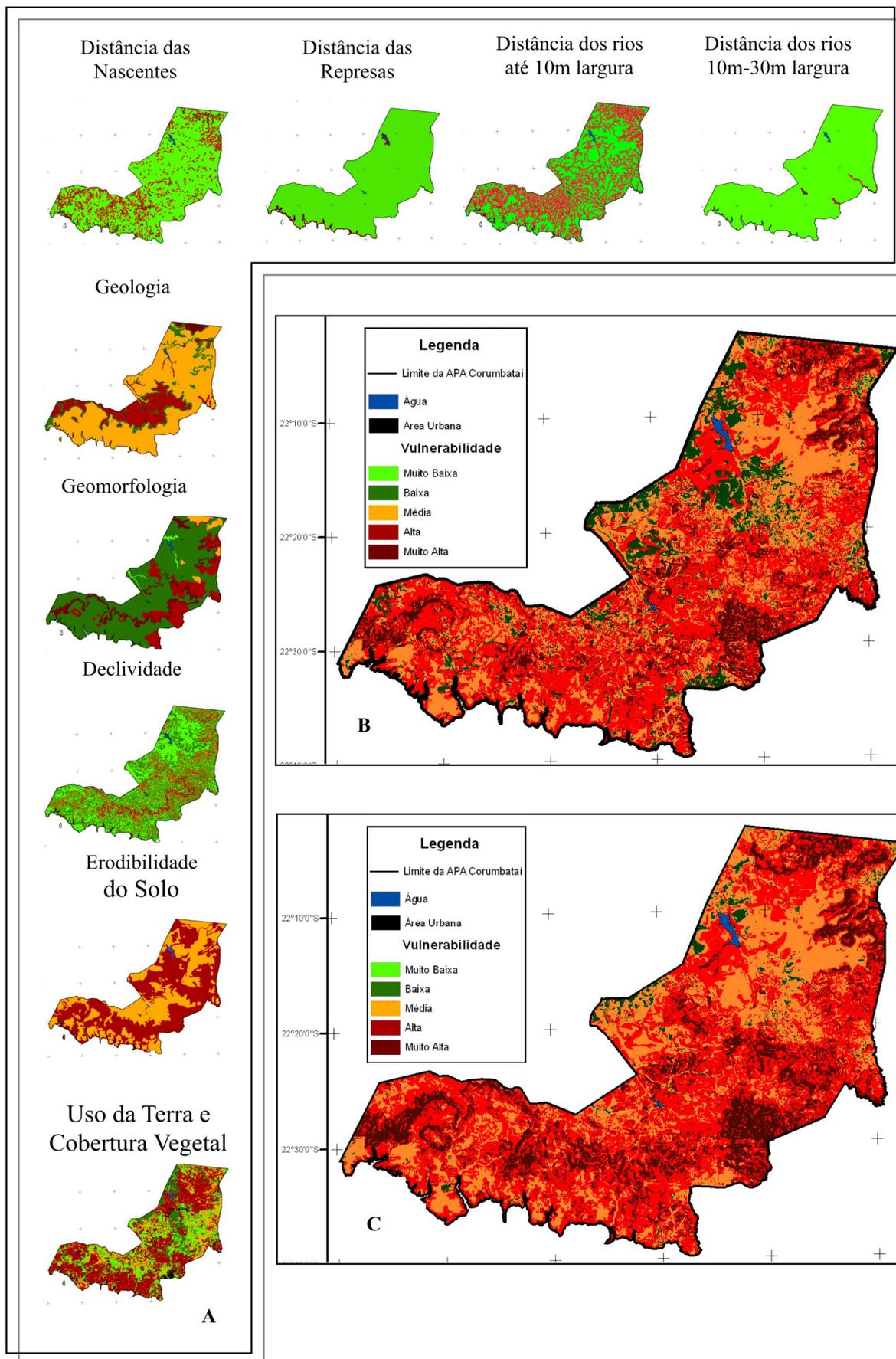


FIGURA 11. A. Mapa de Fatores. B. Proposta VA1. C. Proposta VA2.

e baixa vulnerabilidade, fazendo com que essa área configure-se nessa classe. A mesma região, na proposta VA2, onde o fator determinante na ponderação foi a Erodibilidade do Solo, por sua vez, figura como de classe Média, já que no processo de agregação dos dados, o valor foi o resultante de uma compensação, dado pela presença do Neossolo Quartzarênico, solos de alta vulnerabilidade.

Entende-se que, a proposta VA2, por estar determinada pelo fator erodibilidade do solo, e por ser

uma propriedade estática quando comparada com a dinâmica do uso e cobertura da terra, é a mais indicada. O Quadro 1 apresenta as principais características de cada classe de vulnerabilidade desse mapeamento.

Verifica-se então, que na proposta VA2, 69% da área da APA apresentam vulnerabilidades altas a muito altas, pelo que se recomenda especial atenção a essas zonas, pois refletem as áreas mais críticas, onde o planejamento do uso do solo deve ser realizado de maneira racional e equilibrado.

QUADRO 1. Síntese das principais características de cada classe temática na proposta de Erodibilidade do solo, como fator determinante.

Muito Alta	Acompanha as faixas das serras de Itaquerí, São Pedro, a nordeste da APA e da cidade de São Pedro e na área central. É determinada, principalmente, pela ocorrência de solos mais susceptíveis à erosão, estando em maior proporção, os Neossolos Litólicos, seguido dos Argissolos Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico, em declividades de 0 a 20%, mas também maiores a 20%; inseridas nos relevos Morrotes Alongados e Espigões e Escapas Festonadas, e em menor proporção, em Colinas Amplas e Colinas Médias, das formações Pirambóia e Botucatu, havendo ocorrência numa pequena porção, da Formação Itaquerí. O uso do solo é determinado pela cana de açúcar e cultura perene, seguido de pastagem. Quanto aos recursos hídricos, 3% encontram-se em APPs de nascentes e 48% em áreas de APPs de rios de até 10 m de largura.
Alta	Encontra-se em toda a APA, sobre Neossolos (Quartzarênico e Litólico) e Argissolo Vermelho-Amarelo, e, em menor proporção, em Latossolos Vermelho-Amarelo, em declividades entre 0 a 12%, ocorrendo principalmente nos relevos Colinas Amplas e Colinas Médias, e uma pequena proporção em Morrotes Alongados e Espigões, das formacoes Pirambóia e Botucatu, seguidas da Formação Itaquerí. O uso compreende, principalmente o da cultura de cana de açúcar e pastagem. Quanto aos recursos hídricos, 9% da área encontram-se em APPs de nascentes e 31% em APPs de rios de ate 10 m de largura.
Média	Com ocorrência de Latossolos Vermelho-Amarelo, distribuídos em pequenas manchas no sul da APA, à beira da represa Barra Bonita, e em menor medida, pelo Neossolo Quartzarênico, na região de Itirapina e arredores; em declividades entre 0-12% e relevos exclusivamente de Colinas Amplas e Colinas Medias, das formações Pirambóia e Botucatu, e, em muita menor proporção, da formação Itaquerí. A metade da classe apresenta cobertura de mata e reflorestamento, seguidos de pastagem, cana e cultura. perene. Com respeito a recursos hídricos, 3% da área ocorrem em APPs de nascentes e 20% ocorrem em APPs de rios de ate 10 m de largura.
Baixa	Distribuída de forma irregular em forma de manchas esparsas no centro norte e oeste da APA, onde há ocorrência de solos de média erodibilidade, representados pelos Latossolos Vermelho-Amarelo, entre 0 a 12% de declividade, em relevo principalmente de Colinas Médias, seguido de Colinas Amplas, em rochas de mediana resistência das formacoes Botucatu e, em menor proporção, da Formação Pirambóia; com cobertura do solo dado por vegetação de alta biodiversidade da mata nativa e por plantação homogênea de reflorestamento. Em relação à distância das nascentes, nota-se a inexistência dessa classe em áreas dentro da APPs. Ao respeito dos rios de até 10 m de largura, a maior parte encontra-se em áreas adjacentes de APPs (85%)

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método utilizado se mostrou promissor na determinação dos mapas de vulnerabilidade ambiental, pois ponderou os diferentes fatores de acordo com sua importância, incorporando os recursos hídricos, sendo que somente a distância das APPs das nascentes e das APPs de rios de até 10 m de largura refletiram dados significativos, pois só eles, pela sua distribuição regular na área influenciaram no processo, quando comparados com a distribuição restrita das represas e dos rios de entre 10 a 30 m de largura.

Entende-se que a proposta VA2 representa a melhor opção quanto à escolha de mapa de vulnerabilidade. Isso se justifica pelo fato da erodibilidade do solo ser uma propriedade intrínseca e estática quando comparada com a dinâmica do uso da terra, e porque a mesma apresentou maiores valores de ocorrência de áreas críticas, uma vez que esse trabalho buscou assinalar zonas de altas vulnerabilidades, já que nessas áreas ocorrem a maior parte dos problemas provenientes de atividades humanas.

Os resultados obtidos mostram que, o estado atual da APA reflete uma situação preocupante, já que nela predominam solos de média a baixa resistência à erosão, somado ao desmatamento indiscriminado que vem acontecendo há tempos, principalmente para a obtenção de áreas para pastagem e cultivos de cana de açúcar, evidenciando que essas áreas devem ser prioridade na fiscalização por parte dos órgãos ambientais.

O método de análise multicritério proporcionou uma segmentação resultante da análise das fragilidades dos temas envolvidos, conforme a importância de cada quesito. Nesse contexto, o modelo gerado é de grande aplicabilidade, mas a análise é trabalhosa, devido à intensa fragmentação dessas áreas, surgindo então, como alternativa, uma proposta de zoneamento, onde regiões de determinada classe ou associações de classes de vulnerabilidade possam ser unidas e agrupáveis, para fins de mapeamento. No momento uma área de estudo está sendo selecionada na região, procurando dar uma solução adequada à questão, por meio de análise comparativa com a área original.

Por último, diante das poucas informações existentes para a área de estudo, o presente trabalho contribui para melhorar o acervo de dados ambientais disponíveis para a APA Corumbataí. Propõe ainda, uma metodologia de análise aplicável a APAs, uma unidade de conservação que não tem recebido a devida atenção da área governamental, o que tem permitido intensa ação antrópica, descaracterizando significativamente esta APA, e, com certeza, tantas outras existentes. Dessa maneira, o presente trabalho poderá auxiliar no processo de tomada de decisões, servindo de subsídio para a gestão territorial de maneira planejada e sustentável, com o objetivo de evitar problemas decorrentes da ocupação desordenada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F.F.M. **Fundamentos geológicos do relevo paulista**. Boletim do Instituto Geográfico e Geológico, n. 41, p. 169-263, 1964.
2. ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A. **Mapa geológico do Estado de São Paulo: Escala 1:500.000**. São Paulo: IPT, Monografia 6, 124 p., 1981.
3. ALMEIDA, C.L.F.; OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadricula de Brotas: SF-22-Z-B-III-4, Escala 1:100.000**. Campinas: Instituto Agrônomo, mapa color, 1981.
4. AMORIM, G.M.; EBERT, H.D.; HORST, R. Integração de Informações Geológicas para o Geoturismo, na Bacia do Rio Corumbataí e sua divulgação na web Mapserver. **Geociências**, v. 24, n. 3, p. 221-238, 2005.
5. BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Icone, 355 p., 1990.
6. CAVASSAN, O. **Florística e fitossociologia da vegetação lenhosa em um hectare de cerrado no Parque Ecológico Municipal de Bauru (SP)**. Campinas, 1990. 206 p. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas.
7. CORVALAN, S.B.; GARCIA, G.J.; CAETANO, N.R. Inventário Ecoturístico da Bacia do Rio Passa-Cinco, SP, com o auxílio de Geotecnologias. **Geociências**, v. 26, n. 3, p. 203-213, 2007.
8. CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZAVEDO, L.G.; DUARTE, V.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.
9. DONHA, A.G.; SOUZA, L.C.; SUGAMOSTO, M.L.; LIMA, V.C. Avaliação da metodologia utilizada na geração dos mapas de fragilidade ambiental em uma área piloto na APA do Irai. In: SEMINÁRIO DO PROJETO INTERDISCIPLINAR DE PESQUISA EM EUTROFIZAÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO NA BACIA DO ALTÍSSIMO IGUAÇU, 4, 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba, **quem promoveu o evento???**, p. 17-21, 2003.
10. DONHA, A.G.; SOUZA, L.C. DE P.; SUGAMOSTO, M.L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 175-181, 2006.
11. EMBRAPA – **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 412 p., 1999.
12. GARCIA, L.B.R. **Ocupação e desenvolvimento econômico da Bacia do Corumbataí - séculos XVIII a XX**. DEPLAN/IGCE/UNESP. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/ceapla.htm>. Acessado em: 14jun2008.
13. LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. Erodibilidade dos solos paulistas. Campinas: Instituto Agrônomo, **Boletim Técnico**, v. 27, 12 p., 1975.

14. MANNIGEL A.R.; CARVALHO, M. DE P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. Maringá: *Acta Scientiarum*, v. 24, p. 1335-1340, 2002.
15. MONTEIRO, C.A.F. **A dinâmica climática e as dunas no Estado de São Paulo**: estudo geográfico sob forma de Atlas. São Paulo: IG, 2000. 1 CD-ROM.
16. MORENO, J. Bacia Hidrográfica: Convergência de Investigação Científica e Unidade de Gestão Territorial – A Contribuição do Geoprocessamento. **Relatório Científico**, apresentado a Fundação do Estado de São Paulo – FAPESP como requisito final do Projeto de Pesquisa – Processo 05/54901-2. Piracicaba, 182 p., 2007.
17. MORETTI, L.R. **Avaliação da erosão superficial em pequenas bacias hidrográficas rurais**. São Paulo, 2001. 128 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
18. NOBRE, M.F. **O Zoneamento Ecológico-Econômico como Instrumento de Planejamento e Gestão Ambiental: Uma proposta para a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (SP)**. Rio Claro, 2008. 249 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
19. OLIVIERA, J.B. & PRADO, H. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: Quadricula Piracicaba**. Escala 1:100.000. Campinas: Instituto Geográfico e Cartográfico. II Memorial Descritivo, 118 p., 1989.
20. OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: Escala 1:500.000. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. Legenda expandida, 63 p., 1999.
21. OLIVEIRA, J.B.; PRADO, H.; ALMEIDA, C. **Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: Quadricula de São Carlos**. Escala 1:100.000. Campinas: Instituto Agrônomo, II Memorial Descritivo, 118 p., 1984.
22. PAGANO, S.N.; CESAR, O.; LEITÃO FILHO, H. DE F. Composição florística do estrato arbustivo-arbóreo da vegetação de cerrado da área de Proteção Ambiental (APA) de Corumbataí - Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 49, n. 1, p. 37-48, 1989.
23. PEREIRA, M.F.V. & GONÇALVES, A.R.O. Ecoturismo em Brotas-SP: Ação pública e privada na produção da localidade turística. Rio Claro: **Geografia**, v. 29, n. 2, p. 159-167, 2004.
24. PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, F.F.M.; PRANDINI, F.L. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**: Escala 1:500.000. São Paulo: IPT, Monografia 5, 64 p., 1981.
25. SOARES, P.C. & FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícias Geomorfológicas**, v. 6, n. 32, p. 71-104, 1976.
26. VENEZIANI, P. & ANJOS, C.E. **Metodologia de interpretação de dados de Sensoriamento Remoto e aplicações em Geologia**. São José dos Campos: INPE, 54 p., 1982.
27. ZAINÉ, M.F. Patrimônios Naturais da Região de Rio Claro, Ipeúna e Serra dos Padres. Análise da Compatibilidade com a ocupação atual e considerações sobre sua exploração e conservação. Rio Claro. **Relatório de Pós-doutorado**, CNPq – CEAPLA – IGCE – UNESP, 83 p., 1996.
28. ZAVATINI, J.A. & CANO, H. Variações do ritmo pluvial na bacia do Rio Corumbataí. Rio Claro: **Boletim de Geografia Teórica**, v. 23, n. 1, p. 215-241, 1993.

*Manuscrito Recebido em: 21 de junho de 2010
Revisado e Aceito em: 1 de fevereiro de 2011*