

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Campus de Rio Claro

**ZONEAMENTO AMBIENTAL DA APA CORUMBATAÍ (SP) DE
ACORDO COM CRITERIOS DE VULNERABILIDADE
AMBIENTAL**

SUSANA BELÉN CORVALÁN

Orientador: Prof. Dr. Gilberto José Garcia

Tese de Doutorado elaborada junto ao
Programa de Pós-Graduação em Geociências
e Meio Ambiente para obtenção do título de
Doutor em Geociências e Meio Ambiente.

Rio Claro (SP)
2009

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Gilberto José Garcia

Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

Dra, Mônica Giacomassi de Menezes de Magalhães

Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros

Prof. Dr. Ailton Luchiari

Susana Belén Corvalán
Aluna

Rio Claro, 17 de Agosto de 2009

Resultado: APROVADA

DEDICO,
*A mi querido hijo Luca Corvalán
Caetano, luz de mi vida, estrella
de mi cielo*

.

Agradecimentos

Gostaria de começar agradecendo a minha família: minha mãe Susana, meu pai Roberto, minha irmã Soledad, primas Ari y Vivi, tias: Delia, Tita e Lita, pelo carinho e amor incondicional que sempre recibo deles: sou muito grata.

Ao meu querido Norton Roberto Caetano, pela alegria diária que me outorga com sua presença, pela cumplicidade, pelas conversas, discussões, incentivo, apoio e ajuda desinteressada no recorrer deste trabalho, principalmente no manuseio do SIG e na correção final do texto.

A Soraia, pela paciência, amor e carinho ao cuidar do Luca.

Ao meu orientador, Prof. Gilberto Garcia, por ter me dado mais uma vez seu voto de confiança, pela sempre pré-disposição, ajuda e observações agudas em momentos fundamentais para o desenvolvimento e conclusão desse trabalho.

A CAPES e CNPq, pela ajuda no financiamento desta pesquisa.

Aos professores da banca, pelas suas valiosas sugestões, em especial a Sergio dos Anjos, Sérgio Antonello e a Mônica Giacomassi de Menezes de Magalhães, pela colaboração e disponibilidade, tanto na qualificação como em todo o processo.

Ao longo desses anos, tive o prazer de conhecer pessoas especiais, como meus colegas da pos: Alessandrinha, Simone, Jean, Claudinha e Cesinha, Leila, Vinicius, Liliane, Mauricio, Duda e Kelusodi. Agradeço a eles pela recepção carinhosa e pelas reuniões inesquecíveis, marcadas por momentos de grande alegria.

A minha amiga e confidente Mayra, muito obrigada pela colaboração nas saídas de campo e pela agradável companhia. Ao Prof. Dimas, por estar sempre disposto a me ajudar e pelo empréstimo do GPS.

As amigas Nívea, Ludimila, Andréa, Fabiola, lhes agradeço por tornar minha vida em Rio Claro mas alegre e divertida. Muito obrigada Fa e Neusa, pela adorável e carinhosa acolhida.

As secretarias da pós: Laura, Rose, Cristina e Rosangela. Muito obrigada pelo carinho e paciência com meu filho Luca.

"El amor por todas las criaturas vivientes es el más noble atributo del hombre."
Charles Darwin (1809-1882)

La grandeza de una nación y su progreso moral pueden ser juzgados por la forma en la que los animales son tratados.
Mahatma Gandhi (1869-1948)

RESUMO

O objetivo do presente foi o Zoneamento Ambiental da Área de Proteção Ambiental Corumbataí, usando critérios de Vulnerabilidade Ambiental, em ambiente SIG segundo uma análise multicritério, visando um ordenamento do uso e cobertura na área de estudo. Na análise multicritério foram aplicadas as variáveis Distância dos Recursos Hídricos, Erodibilidade dos solos, Declividade, Geológicas, Pedológicas e Geomorfologias e Cobertura Vegetal, as quais foram ponderadas segundo critérios de Vulnerabilidade Ambiental e combinadas segundo o método de Combinação Linear Ponderada, esse procedimento culminou em um Mapa de Vulnerabilidade Ambiental. A partir da análise interpretativa de padrões de imagens, a área da APA foi compartimentada, resultando no Mapa de Zoneamento Ambiental, A través da análise desse mapeamento verificou-se que 39% da APA apresenta alta restrição ao uso e ocupação (escarpa e parte do planalto, imediações de São Pedro), 37% moderada (parte do planalto, borda da represa Barra Bonita, imediações do Rio Cabeça e de São Pedro) e 24% baixa (parte do planalto, médio Jacaré-Pepira, imediações de São Pedro e Barra Bonita). Esse estudo permite subsidiar o ordenamento e a definição de prioridades no uso e ocupação da APA, e pode auxiliar os gestores no planejamento da ocupação territorial.

Palavras-chaves: Vulnerabilidade Ambiental, Análise Multicritério, Geoprocessamento, Zoneamento Ambiental.

ABSTRACT

The purpose of this study was the zoning of Corumbataí Environmental Protection Area, using vulnerability criteria, in SIG environment and according multicriteria analysis, aiming a ordering of the land cover in the EPA, seen due to the present human activities pressure in this area. Surface water bodies distribution, slope gradient geological, pedological and geomorphological aspects and vegetal cover was used in the multicriteria analysis. These factors had been evaluated considering vulnerability weighed criteria and this parameters were combined according to the method of Weighed Linear Combination and a Vulnerability Map. Zoning were obtained using image interpretation approach. The results indicated that approximately 39% of the EPA shows high restriction to the use and occupation (scarp and part of plateaus, immediacy of São Pedro city), 37% moderate (part of plateaus, edge of the Barra Bonita dam, immediacy of the Cabeça River and of São Pedro city) and 24% low (part of plateaus, medium Jacaré-Pepira valley and around of São Pedro and Barra Bonita cities). This map allowed to the order and the definition of priorities in the use and occupation in the EPA, and can be usefully the managers at the planning of the territorial occupation order.

Keywords: Environmental Vulnerability, Multi-Criteria Analysis, Geoprocessing, Environmental Zoning.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Comportamento espectral de alguns alvos, adaptada de Kennie; Matthews (1985).	28
Figura 2 - Localização da APA Perímetro Corumbataí na imagem CCD/CBERS-2, bandas 342-RGB correspondente a passagem do dia 31 de Outubro de 2006.....	34
Figura 3 - Mapa Geológico da área de estudo. Fonte: Modificado de Almeida et al. (1981).	36
Figura 4 - Mapa de altimetria da APA Corumbataí. Fonte: carta topográfica do IBGE, escala 1:50.000.....	39
Figura 5 - Mapa Geomorfológico da área de estudo. Fonte: Modificado de Ponçano et al. (1981).	40
Figura 6 - Mapa Pedológico da área de estudo. Fonte: Modificado de Almeida et al. (1981), Oliveira et al. (1984); Prado (1989) e Oliveira et al. (1999).	44
Figura 7 - Diagrama geral do fluxo de trabalho.	55
Figura 8 - Relação das folhas topográficas do IBGE (escala 1:50.000), necessárias para cobrir a área da APA Corumbataí.	57
Figura 9 - Modelo Conceitual do Banco de Dados Geográfico em formato GeoOMT.....	60
Figura 10 - Fluxograma com o procedimento técnico aplicado para a realização do presente trabalho.	70
Figura 11 - Rede de drenagem da APA Corumbataí.	73
Figura 12 - Representação esquemática do procedimento para obtenção do <i>buffer</i> das APPs. Fonte: SPRING (2009).	74
Figura 13 - Mapa Hipsométrico da APA Corumbataí, derivado do MDET e gerado no ArcGIS.....	92
Figura 14 - Mapa de Declividade da APA Corumbataí, derivado do MDET e gerado no ArcGIS.....	92
Figura 15 - Composição colorida da imagem CCD/CBERS-2, bandas 432-RGB, correspondente a passagem do dia 31/10/2006.....	94
Figura 16 - Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal da APA Corumbataí.....	96
Figura 17 - Gráfico de porcentagem de ocorrência das classes do mapa Uso da Terra e Cobertura Vegetal.	98
Figura 18 - Terras preparadas para cultivo de cana de açúcar, às margens da rodovia São Pedro-Itirapina.	98
Figura 19 - Floresta Estacional Semidecidual nas encostas da Serra de Itaquerí.....	98
Figura 20 - Ponte sobre o Rio Corumbataí, no entroncamento com a Rodovia SP 310.....	99
Figura 21 - Foto panorâmica da Serra de Itaquerí.	99
Figura 22 - Plantio de citros no município de Itirapina, às margens da Rodovia SP-225. ...	100
Figura 23 - Plantio de milho no município de Ipeúna, as margens da antiga estrada Rio Claro-Ipeúna.	100
Figura 24 - Plantio de <i>Eucalyptus</i> . No fundo, a serra do Tabuleiro, no município de Santa Maria da Serra.....	101
Figura 25 - Representação gráfica do uso das Terras em cada APPS.	103
Figura 26 - Cana de açúcar na beira do Ribeirão Água Vermelha, às margens da Rodovia SP191 (saída de Ipeúna-Charqueada). Leste da APA.	103
Figura 27 - Ausência de faixa de mata ciliar no Rio Jacaré Pepira, as margens da Rodovia SP197. Centro da APA.....	104
Figura 28 - Ribeirão da Prata, as margens da estrada de terra Barra Bonita-Santa Maria da Serra. Sul da APA.	104
Figura 29 - Ribeirão da Onça. Sul da APA.	104

Figura 30 - Pecuária na base da Serra do Itaquerí.....	105
Figura 31 - Mapa de APPs de Nascentes, Mata Ciliar e de Encosta da APA Corumbataí...	106
Figura 32 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Distância das Nascentes	108
Figura 33 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Distância das Represas	109
Figura 34 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Distância das APPs50m.	110
Figura 35 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Distância das APPs30m.	111
Figura 36 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Declividade.....	113
Figura 37 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Erodibilidade.....	115
Figura 38 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Geologia.....	117
Figura 39 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Geomorfologia.....	119
Figura 40 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Cobertura Vegetal.....	121
Figura 41 - Representação gráfica das classes, em porcentagem, de Vulnerabilidade Ambiental.....	124
Figura 42 - Vulnerabilidade Ambiental da APA Corumbataí, com o fator Cobertura Vegetal assumindo maior importância e de valor igual a 0,30.....	125
Figura 43 - Distribuição das classes de Vulnerabilidade Ambiental.....	128
Figura 44 - Vulnerabilidade Ambiental da APA Corumbataí, com o fator Erodibilidade assumindo maior importância e de valor igual a 0,24.....	131
Figura 45 - Etapas na elaboração do Zoneamento. A - Imagem CCD/CBERS-2, composição 342RGB. B - Delimitação de zonas de padrão similar de Vulnerabilidade Ambiental. C - Mapa final de Zoneamento Ambiental com as respectivas classes de restrição.....	133
Figura 46 - Proposta de Zoneamento Ambiental da APA Corumbataí quanto à ocupação e uso do solo, de acordo com critérios de Vulnerabilidade Ambiental.....	136

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Características sócio-econômicas dos municípios da APA Corumbataí.....	53
Tabela 2 - Classes de Vulnerabilidade e seu correspondente grau de classificação.....	67
Tabela 3 - Hierarquia de Vulnerabilidade para o fator Distância aos Recursos Hídricos.....	76
Tabela 4 - Intervalos de declividade, grau e classes de Vulnerabilidade.....	77
Tabela 5 - Classes de solos presentes na área, grau e classe de Vulnerabilidade.....	80
Tabela 6 - Valores de Vulnerabilidade/Estabilidade de Diferentes Litologias. Fonte: Crepani et al. (1996).....	82
Tabela 7 - Hierarquização do fator Geologia segundo a sua vulnerabilidade.....	82
Tabela 8 - Classes de unidades de relevo hierarquizadas segundo a vulnerabilidade.....	84
Tabela 9 - Classes de Cobertura Vegetal, grau e classe de Vulnerabilidade.....	85
Tabela 10 - Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal da APA Corumbataí.....	97
Tabela 11 - Uso da Terra nas APPS de nascentes, matas ciliares e encostas.....	102
Tabela 12 - Distribuição da vegetação nativa segundo faixa de proteção.....	103
Tabela 13 - Fatores com seus correspondentes pesos.....	123
Tabela 14 - Intervalos usados para a classificação da imagem de Vulnerabilidade Ambiental e quantificação das classes.....	123
Tabela 15 - Fatores de avaliação com seus respectivos pesos.....	128
Tabela 16 - Valores dos intervalos redistribuídos e sua área de ocorrência na APA Corumbataí.....	128
Tabela 17 - Ocorrência dos fatores em cada classe de Vulnerabilidade Ambiental, no caso da Cobertura Vegetal assumir maior importância.....	132
Tabela 18 - Ocorrência dos fatores em cada classe de Vulnerabilidade Ambiental, no caso da Erodibilidade assumir maior importância.....	133

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1 - Comparação entre imagens de satélites e fotos aéreas. Fonte: Modificado de Caetano (2006).....	30
Quadro 2 - Principais características das Unidades de Relevo presentes na área de estudo. Fonte: Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (PONÇANO et al., 1981).....	39
Quadro 3 - Dimensões da faixa de mata ciliar estabelecida pelas legislações acima citadas, criadas a partir da função <i>buffer</i> do programa .SPRING.....	74

SUMÁRIO

	Página
1 - INTRODUÇÃO	16
1.1 Justificativa	18
1.2 Objetivos.....	18
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1 Vulnerabilidade Ambiental. Métodos de Avaliação	20
2.2 Zoneamento Ambiental	23
2.3 Unidades de Conservação - Áreas de Proteção Ambiental	25
2.4 Sensoriamento Remoto.....	27
2.5 Geoprocessamento. Sistema de Informação Geográfica.....	30
3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
3.1. Localização e descrição.....	33
3.2. Meios Físico e Biótico.....	35
3.2.1. Aspectos Geológicos	35
3.2.2. Aspecto Geomorfológico	38
3.2.3. Aspecto Pedológico	43
3.2.4. Característica Climática.....	45
3.2.5. Uso da Terra e Cobertura Vegetal.....	46
3.3 Aspectos Sócio-econômicos	49
4 - MATERIAL E MÉTODO.....	54
4.1. Definição do Problema	56
4.2. Fundamentação Teórica.....	56
4.3. Reunião de Materiais.....	56
4.4. Trabalho de Campo	58
4.5. Banco de Dados Geográfico	59
4.5.1. Definição do Limite da APA.....	59
4.5.2. MDET	61
4.5.3. Rede de Drenagem.....	62
4.5.4. Ajustes de Mapas.....	62
4.6. Uso da Terra e Cobertura Vegetal.....	63
4.7. Vulnerabilidade Ambiental.....	67
4.8. Avaliação.....	84
4.9. Zoneamento Ambiental da APA.....	85
5 - RESULTADOS E DISCUSSOES	87
5.1 MDET e Declividade.....	87
5.2 Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal	93
5.3 Mapas de fatores	101
5.3.1 Áreas de Preservação Permanente.....	101
5.3.2 Fator Distância aos Recursos Hídricos.....	107
5.3.3 Fator Declividade	112
5.3.4 Fator Erodibilidade do Solo	114
5.3.5 Fator Geologia.....	116
5.3.6. Fator Geomorfologia	118
5.3.7 Fator Cobertura Vegetal.....	120
5.4. Combinação dos critérios segundo o Método Multicritério	122
5.4.1 Fator Cobertura Vegetal como fator de maior importância.....	122
5.4.2. Fator Erodibilidade como fator de maior importância.....	125
5.5 Proposta de Zoneamento Ambiental para a APA Corumbataí, de acordo com critérios de Vulnerabilidade Ambiental.....	134

5.5.1. Classe: Alta Restrição ao Uso e Ocupação	137
5.5.1.1 Setor: Escarpa da Serra	137
5.5.1.2 Setor: São Pedro.....	136
5.5.1.3 Setor: Planalto Itaqueri.....	137
5.5.2. Classe: Moderada restrição ao Uso e Ocupação	139
5.5.2.1 Setor: Planalto Itaquerí.....	138
5.5.2.2 Setor: Represa Barra Bonita	141
5.5.2.3 Setor: São Pedro	141
5.5.2.4 Setor: Rio Cabeça	142
5.5.3 Classe: Baixa Restrição ao Uso e Ocupação.....	142
5.5.3.1 Setor: Planalto Itaqueri.....	143
5.5.3.2 Setor: Barra Bonita	144
5.5.3.3 Setor: Depressão Peroférica	144
6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	146
7 - CONCLUSOES.....	148
REFERÊNCIAS.....	149
ANEXO 1.....	158
ANEXO 2.....	161
ANEXO 3.....	166

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento científico, tecnológico e econômico vem contribuindo, inevitavelmente, com o avanço de exploração dos recursos naturais, acarreado diversos problemas ambientais. Exercida de diversas maneiras numa determinada região, a ação antrópica, dada pela exploração de recursos naturais tem como consequência, a degradação ambiental da paisagem, o aumento da poluição do ar e das águas, entre outros. Outra ação importante é a agricultura, com importantes impactos sobre os solos, recursos hídricos, fauna e vegetação natural. A urbanização e industrialização impactam igualmente solos, recursos hídricos, flora, fauna e ar.

Com a crescente demanda dos recursos naturais, e a consequente diminuição faz-se necessários estudos e planejamentos que maximizem a manutenção desses recursos.

O planejamento da ocupação territorial do ambiente pelo homem tem sido foco principal para a implantação de técnicas e políticas que possam discipliná-las.

Dessa forma, unidades de conservação são alvos de planejamento que visam para que seus objetivos de proteção e preservação dos ecossistemas, no seu estado natural e primitivo sejam plenamente satisfeitos. Nesse sentido, a implementação de um sistema de unidades de conservação constitui uma estratégia para garantir a preservação dos recursos naturais e incentivar o seu uso sustentável.

Na realização de pesquisas voltadas ao planejamento e gestão ambiental tratam a integração das variáveis físicas que atuam interativamente. Nesse contexto e na análise integrada de dados, o uso dos sistemas de informação geográfica e o sensoriamento remoto surgem como ferramentas fundamentais no manejo dos recursos naturais e planejamento ambiental, auxiliando na complexidade e na quantidade de variáveis atuantes, tornando o planejamento uma atividade mais dinâmica, eficiente e simplificada.

A abordagem multicritério é uma das técnicas empregadas para tomada de decisão incorporada aos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) e é considerada um avanço em relação ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação para a priorização de áreas (EASTMAN et al., 1995; HICKEY & JANKOWSKI, 1997; MALCZEWSKI, 1999; THILL, 1999). A aplicação desta metodologia foi utilizada na elaboração dos mapas de Vulnerabilidade Ambiental.

Mapas de Vulnerabilidade Ambiental são componentes de alta importância, pois avaliam, identificam e organizam informações sobre os usos e características das áreas de risco e impacto ambiental, decorrentes do processo de ocupação. Já é possível encontrar algumas iniciativas referentes ao uso de mapas de Vulnerabilidade Ambiental como ferramentas de gestão. Em função disto, a identificação dos ambientes naturais e suas vulnerabilidades (fragilidades) proporcionam 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.

Nesse sentido, para minimizar os possíveis impactos causados ao meio ambiente pelas atividades antrópicas é que surgem os zoneamentos, sendo definidos, em geral, por um objetivo principal: ordenar o território em áreas ou zonas homogêneas com características e potencialidades similares. Tratando-se do Zoneamento Ambiental, esse ordenamento objetiva a delimitação de zonas com características e potencialidades ambientais semelhantes, dada pela análise dos aspectos ambientais de forma integrada. Nesse sentido, o Zoneamento Ambiental é um instrumento usado para a racionalização de ocupação dos espaços sugerindo o re-direcionamento de atividades nele desenvolvidas.

O presente trabalho propõe como área de estudo a Área de Proteção Ambiental (APA) perímetro Corumbataí (APA Corumbataí), criada em 1983 para proteger a Cuesta Basáltica, os remanescentes de vegetação de cerrado e mata e as áreas de recarga do Aquífero Guarani.

1.1 Justificativa

A preservação da biodiversidade e de áreas representativas dos diversos biomas de nosso planeta vem tendo grande destaque na atualidade, como também qual a maneira mais adequada de gestão e manejo desses recursos, indicando não só a importância do tema, mas também a inexistência de uma conclusão definitiva associada a uma única alternativa. O grande desafio das Unidades de Conservação, no caso, uma APA é conciliar os objetivos da conservação à visitação e à presença humana em seu interior e entorno.

A presente pesquisa pretende abordar essa questão, possibilitando o mapeamento de áreas ambientalmente sensíveis, que servirão no planejamento adequado da paisagem.

A fim de analisar e avaliar a Vulnerabilidade Ambiental para auxiliar no planejamento regional, optou-se pela utilização de um SIG, capaz de agilizar resultados, tratar grandes volumes de dados, permitir sua atualização e diminuir a imprecisão dos trabalhos efetuados manualmente.

Sendo a área de estudo uma Área de Proteção Ambiental, com jurisdição de vários municípios e submetida a intenso uso antrópico (com demanda considerável dos recursos naturais) assume particular importância a realização dessa pesquisa. Em função disto, torna-se cada vez mais urgente o planejamento físico territorial não só com enfoque sócio econômico, mas também ambiental, levando em consideração não apenas as potencialidades, mas principalmente a fragilidade das áreas com intervenções antrópicas. A elaboração do Zoneamento Ambiental contribuirá para o ordenamento das atividades econômicas, permitindo o planejamento adequado em áreas de risco ambiental, com a finalidade de preservar os recursos naturais.

1.2 Objetivos

O objetivo principal do presente trabalho é:

- Realizar um Zoneamento Ambiental na APA Corumbataí de acordo com critérios de Vulnerabilidade Ambiental.

Objetivos específicos:

- Desenvolver e executar um procedimento para dar suporte ao processo de tomada de decisões mediante avaliação multicritério utilizando um SIG;

- Realizar uma análise comparativa entre uso atual da terra e uso recomendado, baseado no Zoneamento Ambiental.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Vulnerabilidade Ambiental. Métodos de Avaliação

O conceito de sensibilidade ambiental de uma área é muito amplo já que pode ser definida por diferentes fatores que atuam freqüentemente em conjunto. Pode ser considerada, em geral, como uma entidade específica e delimitada, na qual os fatores ambientais e socioeconômicos não estão em equilíbrio, ou não são sustentáveis para aquele ambiente em particular (GOURLAY, 1998).

A estabilidade ou vulnerabilidade (resistência ao processo natural à erosão) das unidades de paisagem natural é definida pela análise integrada do conjunto rocha, solo, relevo, vegetação e clima.

O conceito de “áreas sensíveis ambientalmente” surgiu há 30 anos em países industrializados. Podem-se definir como porções da paisagem que contem feições naturais ou culturais importantes para o funcionamento de um ecossistema e podem ser negativamente impactadas por atividades humanas. Pode-se acrescentar ainda a importância na manutenção ao longo prazo da diversidade biológica, solo, água, ou outro recurso natural, no contexto local ou regional.

Vulnerabilidade Ambiental consiste em qualquer conjunto de fatores ambientais de mesma natureza que, diante de atividades que estão ocorrendo ou que venham a ocorrer,

poderá sofrer adversidades e afetar, de forma total ou parcial, a estabilidade ecológica da região em que ocorre (ANDERSEN; GOSK, 1987).

Nesse contexto, o conceito de Vulnerabilidade Ambiental adotado neste trabalho é, além da susceptibilidade ao impacto (ou seja, a fragilidade estrutural intrínseca que o espaço natural -APA Corumbataí- apresenta em sua formação física, inerente ao processo de formação e forma), a maior ou menor susceptibilidade do ambiente ao impacto provocado por uma ação antrópica qualquer.

Os resultados da intervenção antrópica são bem conhecidos e precisos, sendo os principais: perda de cobertura da vegetação original praticada desde tempos remotos, convertendo florestas em campos, provocando perda de biodiversidade (diminuição de espécies induzida pela fragmentação do habitat natural), degradação por erosão do solo decorrente das atividades agrícolas (terras improdutivas), assoreamento dos recursos hídricos, entre outros.

O emprego de tecnologias como SIG, voltado para estudos de cunho ambiental, auxilia na análise precisa e ágil quanto à vulnerabilidade do local mediante ação humana ou até mesmo diante das mudanças naturais ocorridas no próprio ambiente, permitindo o planejamento adequado para áreas de risco ambiental.

A abordagem multicritério é uma das técnicas empregadas para tomada de decisão, incorporada aos SIGs e é considerada um avanço em relação ao procedimento convencional de cruzamento de planos de informação para a priorização de áreas (EASTMAN et al., 1995; HICKEY & JANKOWSKI, 1997; MALCZEWSKI, 1999; THILL, 1999).

Nos processos de decisão, uma questão fundamental é estabelecer como determinado atributo interferirá no processo, definindo um critério pelo qual ele limitará as opções de resolução do problema.

Uma regra de decisão é o procedimento pelo qual critérios são combinados para uma determinada avaliação que visa um objetivo específico. Assim, o critério é alguma base mensurável e avaliável para uma decisão e pode ser um fator ou uma restrição. Um fator realça ou ameniza a aptidão de uma alternativa específica para um propósito em consideração (EASTMAN, 2001) e uma restrição limita as alternativas em consideração, excluindo áreas e limitando espacialmente a distribuição das possibilidades de escolha (EASTMAN et al., 1993).

Para a integração dos diferentes fatores, com base na abordagem multicritério, vários são os métodos que vem sendo utilizados, como o Booleano, o do Ponto Ideal, o da Combinação Linear Ponderada, o da Análise de Concordância e o da Média Ponderada Ordenada (MALCZEWSKI, 2000).

Na Combinação Linear Ponderada (VOOGD, 1983) os critérios (fatores) são padronizados para uma escala numérica comum, recebendo pesos e combinados por meio de uma média ponderada. O resultado é um mapa de prioridades que pode ser limitado espacialmente por uma ou mais restrições booleanas (EASTMAN, 2001).

Segundo Berry (1993), a principal razão da popularidade da Combinação Linear Ponderada está na facilidade de sua implementação no ambiente dos SIGs, usando álgebra de mapas e modelagem cartográfica. Malczewski (2000) ressalta a facilidade de entendimento e aplicação do método por parte dos tomadores de decisão.

Jiang & Eastman (2000) compararam os métodos de Combinação Linear Ponderada e Booleano na definição de áreas para a locação do parque industrial Nakuru, na África, onde os resultados obtidos foram bem distintos, sendo o produto do método Booleano muito influenciado pelas classes de uso e cobertura de solo, mostrando-se não satisfatório. O trabalho sobre planejamento físico-territorial do Município de Pariqueira-Açu - SP foi feito por Liotte (2002), comparando também os dois métodos e obtendo igualmente duas áreas bem distintas como resultado; concluindo o autor que para um melhor planejamento é indicado o uso da Combinação Linear Ponderada.

Este método vem sendo empregado, para definição de áreas sensíveis, prioritários ou de riscos, em diversos campos de pesquisa. Malczewski (1996) o utilizou para determinação de locais para empreendimentos nocivos. Varma et al. (2000) o utilizaram para priorização de áreas para manejo sustentável de florestas, sendo seus fatores baseados em características físicas, espaciais, ecológicas e econômicas. Já Sartori Neto (2000) o aplicou para a elaboração do Plano de Manejo do Parque Grande Sertão Veredas, Zhu & Dale (2001) desenvolveram um software, baseado nesse método, para determinação de áreas prioritárias para manejo sustentável e Cafiso et al. (2002) o utilizou para definir áreas próprias para locação de estradas na Itália.

Na área da conservação e preservação florestal, Lathrop; Bognar (1998) integraram os fatores de declividade, proximidade aos Corpos d'água, distância às estradas, proximidade às áreas sensíveis para a vida silvestre com a Combinação Linear Ponderada, para determinar

áreas prioritárias para a conservação da Floresta de Sterling, região metropolitana de Nova York. Vettorazzi et al. (2000) e Chen et al. (2001) utilizaram o mesmo método para determinação de áreas de risco de incêndios florestais. O primeiro, realizado na Bacia do Rio Corumbataí-SP teve como fatores uso e cobertura de solo, proximidade aos Corpos d'água, proximidade às estradas, declividade e aspecto. O segundo teve como fatores proximidade às áreas urbanas, proximidade aos Corpos d'água, declividade e aspecto e foi desenvolvido em Sidney, Austrália.

Este método também foi utilizado no projeto Conservação dos Recursos Hídricos por médio da Recuperação e da Conservação da Cobertura Florestal da Bacia do Rio Corumbataí (IPEF, 2001), para a definição de áreas prioritárias para a recuperação florestal. Geneletti (2004) utilizou os fatores raridade, isolamento, distúrbio e área nuclear para definir áreas prioritárias para a conservação de ecossistemas importantes na província de Trento, Itália. Graravelli et al. (2004), também com a Combinação Linear Ponderada, priorizaram áreas para a restauração florestal na Inglaterra, com base em critérios às espécies florestais da região. Valente (2005) utilizou os fatores proximidade entre fragmentos de maior área nuclear, vulnerabilidade a erosão, proximidade à cobertura florestal, proximidade à rede hidrográfica, distância à malha viária e distância aos centros urbanos, para determinação de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal. Moreno (2007) aplica este método na avaliação da Vulnerabilidade Ambiental, usando os critérios declividade, hipsometria, erodibilidade do solo, linha de drenagem, geologia, geomorfologia, distância dos Corpos d'água, distância das nascentes.

2.2 Zoneamento Ambiental

O processo de gestão das APAs tem início com a regulamentação das leis e decretos que as criaram, de modo a definirem-se criteriosamente os instrumentos gerenciais, como o zoneamento de uso e ocupação do solo e as normas para utilização dos recursos naturais existentes nesses territórios.

É mediante o plano de manejo que se define o zoneamento da unidade de conservação, com o objetivo de caracterizar cada zona e propor ações para seu correto desenvolvimento. É um instrumento básico para traçar diretrizes de utilização e conservação dos recursos e é utilizado pelos planejadores como instrumento básico no ordenamento da unidade.

O zoneamento consiste no parcelamento de uma área geográfica em setores, ou zonas, onde após devidas análises, certas atividades estarão permitidas e outras proibidas, identificando quais áreas são mais adequadas para determinado uso ou objetivo de manejo (GRIFFITH et al., 1995)

Nesse contexto, um fim específico em comum apresentam os zoneamentos: delimitar geograficamente áreas territoriais com o objetivo de estabelecer regimes especiais de uso, gozo e fruição da propriedade, servindo de instrumento para a ordenação do território e auxiliando no planejamento. A finalidade que norteia esse ordenamento depende da destinação do zoneamento.

Vários estudos de zoneamento, com propostas metodológicas diversas, foram desenvolvidos tendo o SIG como tecnologia principal. Missio (2003) o aplicou à análise do uso e ocupação do solo, Vedovello (2000) à adoção da cartografia geotécnica como apoio para a gestão ambiental, Jamel et al., (2007) como apoio ao manejo de unidades de conservação, Laguna Marín-Yaseli & Nogués Bravo (2001) para determinar a potencialidade turística do médio natural, entre outros.

Com a promulgação da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Nº 6.938/1981), figura no cenário dos zoneamentos a modalidade de Zoneamento Ambiental, considerado por essa lei, em seu artigo nº 09, como um dos instrumentos de aplicação da mesma.

O Zoneamento Ambiental, instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente (MACHADO, 2008), consiste na divisão de um território em sub-áreas em razão das características ambientais e sócio-econômicas do local. A regulamentação desse instrumento se deu pelo Decreto Federal 4.297 de 10 de julho de 2002 que estabelece critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico – ZEE do Brasil. Isso significa que o Zoneamento ambiental é resultado de um planejamento elaborado, a partir de estudo prévio detalhado das características ambientais e sócio-econômicas da região considerada. Assim, ao distribuir espacialmente as atividades econômicas, o Zoneamento Ambiental levará em conta a importância ecológica, as potencialidades, limitações e fragilidades dos ecossistemas, estabelecendo vedações, restrições e alternativas de exploração do território. Apesar do Decreto 4.297 versar sobre o zoneamento de abrangência nacional, ressalta-se que esse instrumento tem grande importância e aplicabilidade nos âmbitos local e regional, tanto que também foi previsto como instrumento de política urbana no Estatuto da Cidade (Lei Federal 10.257, de 10 de julho de 2001).

Segundo Vedovello (2000), os impactos ao meio ambiente podem ser minimizados por um planejamento adequado da área, contemplando diversas variáveis ambientais em seu

estudo e considerando em conjunto os aspectos socioeconômicos, que também são de fundamental importância. Deve-se levar em consideração a análise das características do meio físico de cada região, visando a obter maior produtividade e reduzir a níveis aceitáveis o desgaste e empobrecimento dos solos.

As características ambientais são as bases para o entendimento da estruturação e organização do espaço físico, com vista à elaboração de estudos voltados ao planejamento ambiental, contribuindo na seleção de áreas naturais de acordo com suas fragilidades e potencialidades (CRISÓSTOMO NETO, 2002)

Para a elaboração de um Zoneamento Ambiental vale ressaltar que não existe uma metodologia exclusiva, e que essa será fruto da abordagem originada pelo pesquisador, de acordo com o enfoque que o trabalho pretenda abordar.

Neste trabalho de pesquisa, o Zoneamento Ambiental entende-se não somente como um método de parcelamento de um determinado espaço para fins de uso e ocupação, mas como um processo que passa fundamentalmente pela determinação das aptidões do território e vulnerabilidades do meio, como suas fragilidades e potencialidades, caracterizando cada zona e propondo ações para seu correto desenvolvimento. Dessa forma, o zoneamento é um instrumento que traça diretrizes de utilização e conservação dos recursos, gerando cenários indicadores de uso e ocupação, e que, atendendo a premissa básica das APAs, concilia a preservação da biodiversidade e dos recursos naturais com o uso sustentável desses recursos.

2.3 Unidades de Conservação - Áreas de Proteção Ambiental

A Unidade de Conservação (UC) é um instrumento de gestão e planejamento estabelecido pela Lei 6938/81, referendado posteriormente pela Constituição Federal de 1988. São áreas territoriais protegidas, legalmente instituídas pelo Poder Público, de características naturais relevantes, de limite e objetivos definidos com o objetivo de conservação da natureza, ou seja, da manutenção dos processos ecológicos, a preservação da diversidade genética e a utilização sustentada das espécies e dos ecossistemas.

Em geral, ao se definir uma área a ser protegida, são observadas suas características naturais e estabelecidos os principais objetivos de conservação, atuando como barreiras para a expansão urbana e restringindo à intervenção antrópica.

Dessa forma, unidades de conservação são alvos de planejamento que visam para que seus objetivos de proteção e preservação dos ecossistemas, no seu estado natural e primitivo sejam plenamente satisfeitos.

De acordo com a Lei n 9.985, de 18 de Julho de 2000 foi criado o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), classificando as UCs em Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. A Primeira classificação tem por objetivo a preservação da natureza, possibilitando o uso indireto dos seus recursos naturais, guardadas as exceções previstas na lei. Dentro desta categoria se inclui: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre. A segunda classificação tem como objetivo compatibilizar a conservação da natureza com o uso direto, mas de forma sustentável dos seus recursos naturais, como as: Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

O objetivo e a natureza das APAs permitem ao Estado a possibilidade de experimentar formas concretas de desenvolvimento socioeconômico em harmonia com os preceitos ecológicos e as normas de gestão ambiental (SÃO PAULO, 1992).

Camargo (1991) define as APAs como unidades de manejo sustentável nas quais se procura conciliar a preservação da diversidade biológica e dos recursos naturais com o uso sustentável de parte dos recursos, mantendo-se tanto a propriedade privada da terra quando a jurisdição municipal sobre elas. Em síntese, as APAs constituem um espaço ideal para as práticas de desenvolvimento sustentável (SÃO PAULO, 1992).

Esta categoria de área protegida, estabelecida pela Lei Federal 6.902/81, estabelece em seu artigo 8 “O Poder Executivo, quando houver relevante interesse publico, poderá declarar determinadas áreas do Território Nacional como de interesse para a proteção ambiental, a fim de assegurar o bem-estar das populações humanas e conservar ou melhorar as condições ecológicas locais”.

A característica marcante das APAs é a possibilidade de manutenção da propriedade publica ou privada e do estilo de vida tradicional da região, onde programas de proteção à vida silvestre podem ser implantados sem haver necessidade de desapropriação de terras. Esta estratégia é compatível com a realidade brasileira, uma vez que a falta de recursos financeiros

para a desapropriação de terras limita a implantação e consolidação de outros programas de conservação.

2.4 Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto trata da obtenção de informação da superfície terrestre pela análise de dados adquiridos por sensores aéreos e/ou orbitais, sem que haja contato com o objeto investigado. Estas imagens apresentam uma visão sinótica permitindo a análise de áreas extensas, facilitando a rapidez e precisão na manipulação dos dados, quando comparados com os métodos tradicionais de levantamento do meio físico e biótico.

Sensores são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro eletromagnético e geram informações que podem ser transformadas num produto passível de interpretação, quer seja na forma de imagem, na forma gráfica ou de tabelas.

O imageamento dá-se por sensores fotográficos ou não fotográficos (de varredura), ativos (possuem fonte de radiação) ou passivos (medem energia refletida ou emitida pelos alvos provenientes de uma fonte externa). Os ativos de varredura são os radares ou *lasers* (SRTM e Radarsat) e os passivos de varredura são os ópticos (ETM+/Landsat-7 e CCD/CBERS-2).

A seguir são descritas e exemplificadas as quatro resoluções da imagem, partindo do exposto por Moreira (2001):

- Resolução espacial: é o conteúdo de informação contida em uma unidade de mapeamento em metros. É também a menor porção identificável do terreno na imagem, em metros. A escolha da resolução espacial tem relação direta com a escala de trabalho e o nível de detalhe exigido;

- Resolução espectral: relaciona-se com a quantidade de bandas (faixas) e a largura da faixa espectral em que o sensor capta informação. Existem sensores do tipo pancromático (uma banda, ex. HRVIR/Spot-4 pan), multiespectral (diversas bandas, ex: ETM/Landsat-7, com 8 bandas) e hiperespectral (dezenas ou centenas de bandas, ex: AVIRIS – *Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer*). Quanto à região do espectro eletromagnético em que é obtida a imagem de satélite, considera-se as faixas de (a) microondas, com comprimentos de onda da ordem de centímetros, onde operam os radares, (b) ópticos, com comprimentos de

onda nas faixas do visível (0,4 a 0,7 μm) e do infravermelho (0,7 a 12 μm), onde operam a maioria dos sensores.

- Resolução radiométrica: é a sensibilidade dos detetores em registrar pequenas quantidades de radiação (*bits*) neles incidentes. A maioria opera em 8 *bits* (ex: ETM+, CCD), ou seja, uma escala de 256 níveis de intensidade. Na imagem isso resultará em uma escala de 256 tons de cinza, desde 0 (preto) até 255 (branco);

- Resolução temporal: é o intervalo de tempo entre passagens consecutivas do satélite pelo mesmo ponto da Terra (ex: ETM+ é de 16 dias).

Depois de ter sido imageada pelo sensor, cada alvo da superfície terrestre, composta por rocha, solo, água, relevo, vegetação e feições de ação antrópica, reflete e/ou absorve luz de maneira diferente, dependendo do comprimento de onda. Desse modo, para se estudar diferentes alvos, deve-se conhecer como eles se comportam ao longo do espectro magnético.

A Figura 1 apresenta o comportamento espectral de alguns alvos encontrados na superfície da Terra. Em cada faixa do espectro eletromagnético há o destaque de alguns alvos em relação aos outros.

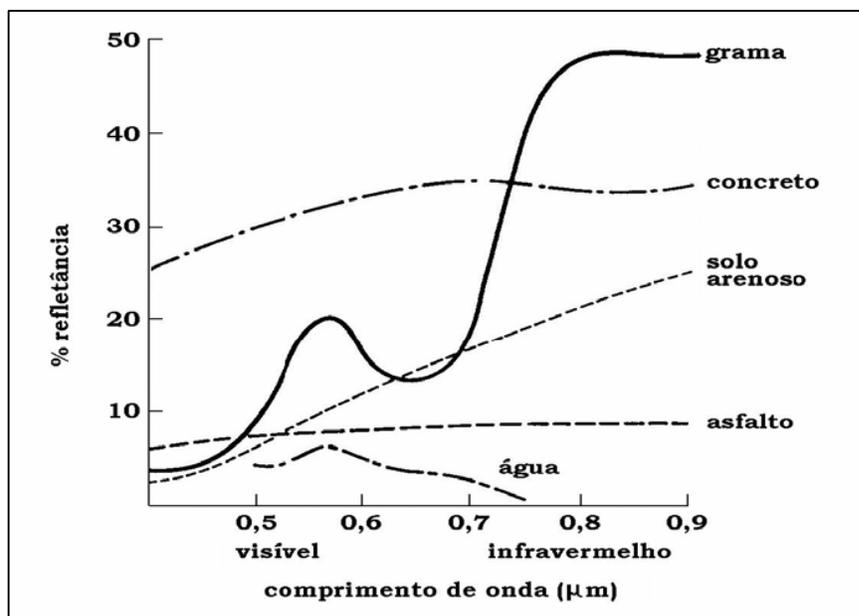


Figura 1 - Comportamento espectral de alguns alvos, adaptada de Kennie; Matthews (1985).

São apresentados a seguir, as principais faixas do espectro e os alvos que são mais facilmente identificados (MOREIRA, 2001):

- Azul (0,4 a 0,5 μm): apresenta grande penetração em corpos d'água, sendo particularmente interessante para estudos de estimacão da profundidade em corpos d'água. Permite detalhar a turbidez da água e o traçado de correntes em corpos d'água. Adequada para mapeamento de águas costeiras. Tem muita sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial;

- Verde (0,5 a 0,6 μm): apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão na água, sendo utilizada para estudos de qualidade da água e mapeamento de correntes em corpos d'água. Adequada para mapeamento de vegetação e áreas onde ocorrem atividades antropicas;

- Vermelho (0,6 a 0,7 μm): apresenta contraste entre áreas cobertas com vegetação e solo exposto, bem como discrimina diversos tipos de vegetação. É a banda mais utilizada para delimitação de áreas urbanas e identificação de sistemas viários. É também adequada para mapeamentos de uso da terra e estudos de qualidade da água;

- Infravermelho Próximo (0,7 a 1,2 μm): apresenta contraste entre solo exposto e corpos d'água, permitindo o mapeamento de rios de médio e grande porte, lagos, lagoas, reservatórios e áreas úmidas. Muito utilizada para mapeamentos de geologia e fisiografia, devido à percepção de relevo;

- Infravermelho Médio (1,2 a 3,5 μm): permite observar o teor de umidade nas plantas e detectar uma possível deficiência hídrica na vegetação. Utilizada para obter informações sobre a umidade da cobertura de alteração intempérica superficial, podendo sofrer perturbações se ocorrerem chuvas pouco antes da cena ser imageada pelo satélite;

- Infravermelho Termal (9 a 12 μm): também chamado de infravermelho distante, capta a radiação emitida pelos corpos, portanto tem ligação direta com a temperatura dos mesmos. Utilizada portanto para se obter a temperatura aproximada de oceanos e outros corpos d'água, áreas urbanas e na delimitação de matas em processo de queimada.

Em qualquer uma das faixas do espectro descritas acima, a presença de nuvens nas imagens de satélite impossibilitam ou dificultam a sua interpretação, ressaltando a importância da época (mês) de aquisição da imagem, o azimute e o ângulo de elevação solar (RODRIGUES; LIU, 1991). Assim, uma imagem com muita sombra (baixo ângulo de elevação solar), prejudica a interpretação do uso e cobertura da terra, mas auxilia na interpretação geológica. Desse modo, para cada interesse específico, há um produto ou passagem mais adequada.

De forma geral, os elementos mais significativos na hora do reconhecimento e interpretação de imagens de satélite são basicamente os mesmos que os utilizados na interpretação de fotos aéreas convencionais, como tonalidade, textura, padrão, forma de relevos, dentre outras, devidamente explicados por Garcia (1982), definidos originariamente para interpretação de fotografias, mas aplicados às imagens orbitais, com ajustes. O Quadro 1 apresenta uma breve comparação entre as características de imagens de sensores remotos orbitais e fotos aéreas.

Atualmente são vários os tipos de satélite, sensores e aplicações. Pode ser visto em Moreira (2001) uma visão clara da diferença entre eles e o enfoque de metodologias e suas várias aplicações.

A Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD - High Resolution CCD Câmera) presente no CBERS-2 fornece imagens de uma faixa de 113 km de largura, com uma resolução de 20m e opera em 5 faixas espectrais, incluindo as bandas pancromática, azul, verde, vermelho e infravermelho próximo.

Quadro 1 - Comparação entre imagens de satélites e fotos aéreas. Fonte: Modificado de Caetano (2006).

Imagens ETM+/Landsat7 e CCD/CBERS-2	Fotos Aéreas
Baixa resolução espacial	Alta resolução espacial
Alta precisão cartográfica	Média precisão cartográfica
	Problemas em áreas de grande variação altimétrica
	Deformação das bordas
Escala fixa em toda cena	Escala variável na mesma cena
	Estereoscopia
Pouco espaço em ambiente digital	Muito espaço em ambiente digital
Fácil manipulação em SIG	Avançada manipulação em SIG
Baixo custo relativo	Alto custo relativo
Obtenção das imagens em curto prazo	Obtenção das fotos aéreas é demorada
Possibilidade de escolha da data da cena	
Várias cenas disponíveis	
Grande área coberta pela cena	Pequena área coberta pela cena (mosaicos)

2.5 Geoprocessamento. Sistema de Informação Geográfica

Existem varias definições de Sistemas de Informação Geográfica na literatura especializada, embora todos eles apresentam os mesmos conceitos básicos. Cowen (1988)

define um SIG como sendo “um sistema de suporte a decisão que envolve dados referenciados espacialmente para resolver um problema ambiental”. Já Burrough; McDonnell (1986), o define como “um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais do mundo real”. E recalca ainda que SIGs modernos são o resultado da junção de várias disciplinas e técnicas de processamento de dados com referência espacial tais como computação gráfica, fotogrametria, análises espaciais de dados no formato raster, interpolações de dados pontuais e sensoriamento remoto.

Eastman (1993) ressalta que na estrutura geral, os principais componentes de um SIG são: sistema de digitalização de mapas, sistema de processamento de imagens, sistema de análise estatística bancos de dados espaciais e de atributos, sistema de gerenciamento de dados, sistema de análise geográfica e, finalmente, sistema de representação cartográfica.

Uma das características mais relevante de um SIG é a capacidade de combinar e integrar dados de diversas fontes, em formato digital, sendo um sistema que permite a manipulação, gerenciamento e visualização de dados geo-referenciados. O termo geo-referenciado denota dados que possuem representação em um sistema de coordenadas geográficas.

Em um SIG há a opção de sobrepor planos de informação e trabalhar com diferentes representações computacionais como imagens (pixel), temáticas (vetorial e classes), numéricas (matriz), redes (topologia arco-nó) e cadastrais (vetorial e objetos) sobrepostas e georeferenciadas (CÂMARA et al., 2008). Ainda há a opção de converter um plano de informação temático em um numérico e vice-versa.

Nesse contexto, através do SIG podem-se realizar interpolações estatísticas de dados (CAMARGO et al., 2008), álgebra de mapas (CORDEIRO et al., 2008), operações de processamento de imagens (MATHER, 1999), análise espacial de fenômenos (CÂMARA et al, 2008), manter relações de topologia (vizinhos), transformar dados, análise, modelagem, armazenar, recuperar, buscar e gerenciar banco de dados georeferenciados (topologia, atributos, localização) entre outros.

Para determinados tipos de trabalho os SIGs podem ser considerados essenciais e indispensáveis dado o grande volume de dados, tempo e complexidade das operações requeridas e, conseqüentemente, para a obtenção de resultados mais confiáveis e menos subjetivos.

Medeiros & Câmara (2008), apontam quatro grandes questões a resolver em pesquisa envolvendo estudos ambientais, sendo eles: Mapeamento temático, Diagnóstico Ambiental, Avaliação de Impacto Ambiental, Ordenamento Territorial e Prognósticos ambientais.

As áreas de aplicação são das mais variadas, como recursos naturais, rios, áreas de inundação, pântanos, aquíferos, florestas, unidades de conservação, planejamento do uso do solo, planejamento urbano, aeroportos, navegação, etc.

Segundo Korth & Silberschatz (1995), um Banco de Dados pode ser definido como uma coleção de dados inter-relacionados, cujo conteúdo informativo representa a qualquer instante, o estado de uma determinada aplicação. Como o próprio nome sugere, um banco de dados é, na verdade, uma coleção organizada de dados afins, facilmente acessíveis através de um determinado meio.

Rocha (1999) define geoprocessamento como “Uma tecnologia transdisciplinar, que, através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais geo-referenciados”.

Segundo Medeiros & Câmara (2008), o geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional.

O Geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias voltadas a coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. Assim as atividades que envolvem o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos para cada aplicação, como os SIGs. O termo Geoprocessamento é o conceito mais abrangente e representa qualquer tipo de processamento de dados geo-referenciados, enquanto um SIG processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies (SPRING, 2009).

3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. Localização e descrição

A APA Corumbataí-Botucatu-Tejupá está subdividida em três perímetros distintos, ocupando cada um deles: Perímetro Corumbataí 272.692 ha (2.727 Km²), Perímetro Botucatu 218.306 ha (2.183 Km²) e Perímetro Tejupá 158.830 ha. (1.588 Km²). A APA perímetro Corumbataí (APA Corumbataí), área de estudo escolhida para este trabalho foi criada pelo Decreto Estadual nº 20.960, de 8 de junho de 1983 (ANEXO 1).

Localizada no Centro-Leste do Estado de São Paulo, está compreendida entre os paralelos 22°00' a 22°40' de latitude Sul e entre os meridianos 47°30' a 48°30' de longitude Oeste. Os municípios abrangidos pela APA são: 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), como pode observar-se na Figura 2.

Foi criada para proteger as Cuestas Basálticas, seus atributos ambientais e paisagísticos, morros testemunhos, recursos hídricos superficiais, o Aquífero Guarani, por ser fonte significativa de água potável para a região, remanescentes de vegetação nativa e patrimônio arqueológico.

A região é amplamente difundida pelas suas atividades ecoturísticas, conhecida pela sua beleza cênica, apresentando inúmeros atrativos naturais como cachoeiras, corredeiras e saltos, resultantes dos desníveis abruptos do relevo das serras de Itaquerí e São Pedro, morros testemunhos, grutas, represas, áreas de remanescente de flora, entre outros (ZAINE, 1996; PEREIRA & GONÇALVES, 2004; CORVALAN, 2005; AMORIM, 2005).

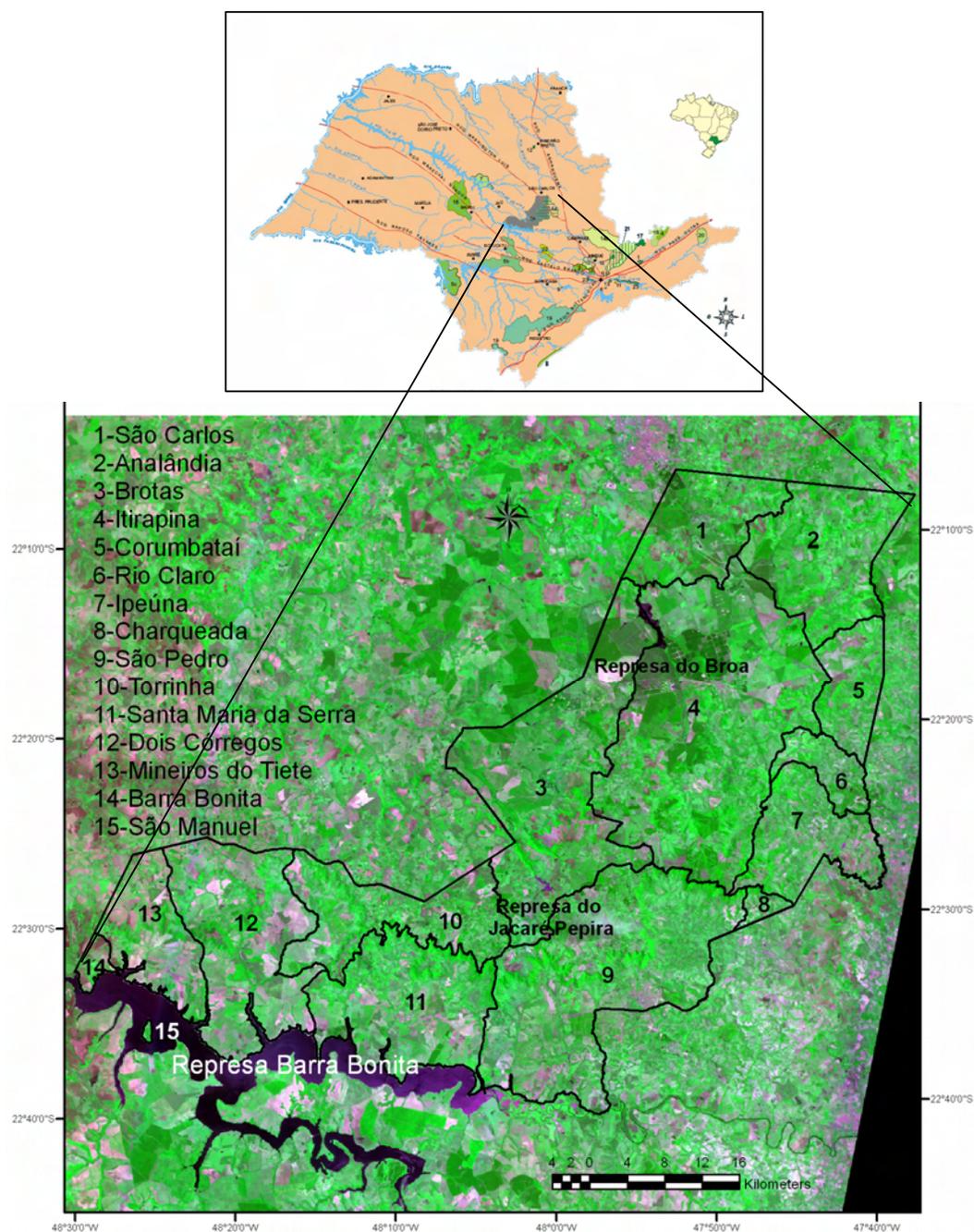


Figura 2 - Localização da APA Perímetro Corumbataí na imagem CCD/CBERS-2, bandas 342-RGB correspondente a passagem do dia 31 de Outubro de 2006.

3.2. Meios Físico e Biótico

3.2.1. Aspectos Geológicos

A área de estudo localiza-se, geologicamente, no setor paulista do flanco nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná e apresenta litologias que datam do Paleozóico, Mesozóico e Cenozóico, com suas ocorrências visualizadas na Figura 3.

Conforme Almeida et al. (1981), verificam-se na área de estudo, litologias referentes aos grandes grupos, a saber:

Unidades da era Paleozóica - representadas por pacotes de rochas sedimentares das formações:

Formação Corumbataí consiste, na sua parte inferior, em argilitos, folhelhos e siltitos cinza escura, e na parte superior, em argilitos, folhelhos e siltitos arroxeados ou avermelhados com intercalações de bancos carbonáticos e camadas de arenitos muito finos. Apresenta espessura máxima em torno de 200 metros e na região é fonte de materiais argilosos para indústrias cerâmicas, localizada na porção leste da área de estudo.

Unidades da era Mesozóica - representadas por pacotes de rochas sedimentares das formações:

Grupo São Bento está representado cronologicamente da base para o topo, pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral, que mostram registros de uma sedimentação exclusivamente continental, em clima árido a semi-árido e encerrada por extenso vulcanismo basáltico.

Formação Pirambóia: é constituída por espessos corpos de arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, de granulometria fina a média, com intercalações de finas camadas de argilitos e siltitos. A espessura máxima atinge até os 300 metros (SOARES, 1972) e se estende por quase toda a área de estudo, acompanhando a depressão periférica.

Formação Botucatu: forma escarpas capeadas por basaltos, em cotas relativamente altas. Compreende um pacote de arenitos avermelhados, finos a médios, com grãos bem arredondados e foscos, friáveis ou silicificados. Localmente, podem ocorrer arenitos argilosos e níveis conglomeráticos. Presente na Serra de São Pedro e Itaquerí, formando a base das Cuestas Basálticas e na região de Itirapina e arredores.

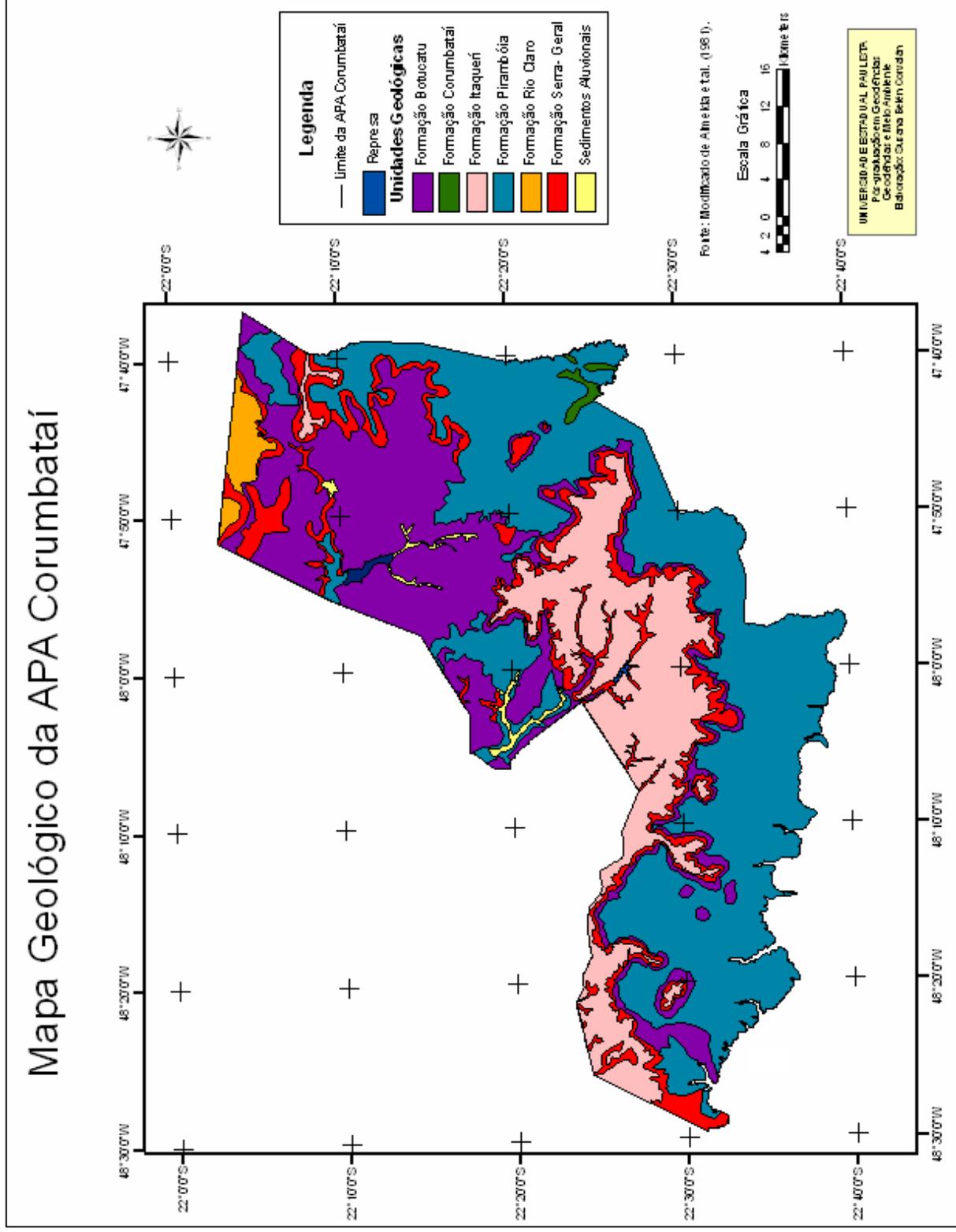


Figura 3 - Mapa Geológico da área de estudo. Fonte: Modificado de Almeida et al. (1981).

Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas Associadas compreende lavas basálticas de natureza toleítica, de coloração cinza a preta, com amígdalas no topo dos derrames e intercalação de delgadas camadas de arenitos intertrapeanos. Afloram na região da serra de Itaquerí, na faixa superior de cuevas e nos morros testemunhos isolados pela erosão. As rochas intrusivas associadas ao vulcanismo da Bacia do Paraná são constituídas por diques e sills de diabásio, existentes em grandes quantidades nas rochas paleozóicas da Depressão Periférica. Ocorrem no leito do Passa Cinco, com importância na caracterização do relevo, sustentando feições mais elevadas e atuando como nível da base na média bacia do Rio Corumbataí.

Grupo Bauru: tem sua faixa de afloramentos no Planalto Ocidental, recobrimo os basaltos da Formação Serra Geral.

Formação Itaquerí: aflora no alto da Serra de Itaquerí, no planalto Itaquerí. É constituído por uma alternância de bancos de arenito, por vezes silicificados, ou com crostas ferruginosas, lamitos e conglomerados. Os arenitos são predominantes e os demais constituem corpos lenticulares alongados. Os arenitos são vermelhos, amarelos ou esbranquiçados, de granulação heterogênea, desde siltitos até arenitos grosseiros.

Unidades da era Cenozóica - representadas por pacotes de rochas sedimentares assim distribuídas:

Formação Rio Claro: é uma cobertura sedimentar neocenozóica, situada entre 600 e 800m de altitude, composta de arenitos arcoseanos mal consolidados, mal classificados, conglomeráticos e argilitos vermelhos (BJÖRNBERG & LANDIM, 1966). Esta unidade apresenta estruturas sedimentares como estratificação cruzada, corte e preenchimento e dissecação (SCHNEIDER et al., 1974).

Sedimentos Aluvionais Quaternários: formados por depósitos de areias cascalheiras são constituídos por seixos de quartzito e seixos de calcedônia (FULFARO & SUGUIO, 1974) e estão associados às calhas fluviais dos rios Jacaré-Pepira, Itaquerí e ribeirão do Lobo, Diferenciam-se dois tipos: um mais antigo, do Pleistoceno, que formou terraços e o outro mais moderno, do Holoceno, correspondente as planícies modernas e constituídos ambos por areias, cascalhos e argilas (ALMEIDA et al., 1981). A ausência generalizada de uma matriz acarreta uma alta permeabilidade e porosidade, manifestando-se em sérios problemas na conservação dos solos e o intenso ravinamento (SOARES; LANDIM, 1976).

3.2.2. Aspecto Geomorfológico

Dentro do contexto geomorfológico, a área de estudo está inserida nas províncias Depressão Periférica e Cuesta Basáltica (ALMEIDA, 1964, PONÇANO et al., 1981), compartimentadas na área em foco em Depressão Médio-Tiete e Planalto Itaqueri.

A Depressão Periférica corresponde a faixa de ocorrência de seqüências sedimentares paleozóicas e mesozóicas do Estado de São Paulo, porções descontínuas de corpos intrusivos, sob forma de diques e *sills* de diabásio, que sobressaem da topografia.

As Cuestas Basálticas apresentam-se como elevadas e festonadas, devido ao pequeno mergulho regional das camadas para noroeste e a espessura dos derrames basálticos, encontrando-se na transição entre os terrenos de depressões e os planálticos. Apresentam formas abruptas e suavizadas, que constituem a escarpa do fronte (ocorrência de derrames basálticos) e o reverso da cuesta (relevo suave e colinoso), respectivamente.

Esta área corresponde a um relevo muito diversificado, erodido, com estruturas resistentes em claros ressaltos topográficos. Apresenta colinas com altitudes que variam de 550 a 650 m, contudo ocorrem áreas com altitudes superiores a 1.000 m, podendo a diferença entre a área serrana e a baixa atingir os 400 m (Figura 4). As serras apresentam escarpas e festões das cuestas arenito-basálticas, áreas de altas declividades e drenagem densa e entalhada, representando algumas formas de relevo residuais, como o Morro do Bizigueli, Morro da Guarita, Morro do Baú.

Segundo o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (PONÇANO et al., 1981), a área é caracterizada pela ocorrência dos seguintes tipos de relevo (Figura 5): **Colinas Amplas**, de declividades baixas até 15 %, apresentando interflúvios com áreas superiores a 4 km², topos aplainados, vertentes de perfis convexos e retilíneos, drenagem de baixa densidade, padrão sub-dendrítico, com vales abertos e fechados, planícies aluviais interiores restritas e presença eventual de lagos perenes ou intermitentes; **Colinas Médias**, de baixas declividades até 15% com áreas de 1 a 4 km², topos aplainados, vertentes com perfis convexos e retilíneos, drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes; **Morrotes Alongados e Espigões**, onde predominam declividades médias a altas, acima de 15%, com interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos e achatados e vertentes ravinadas com perfis retilíneos e drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico e vales fechados e **Encostas com Cânions Locais**, com

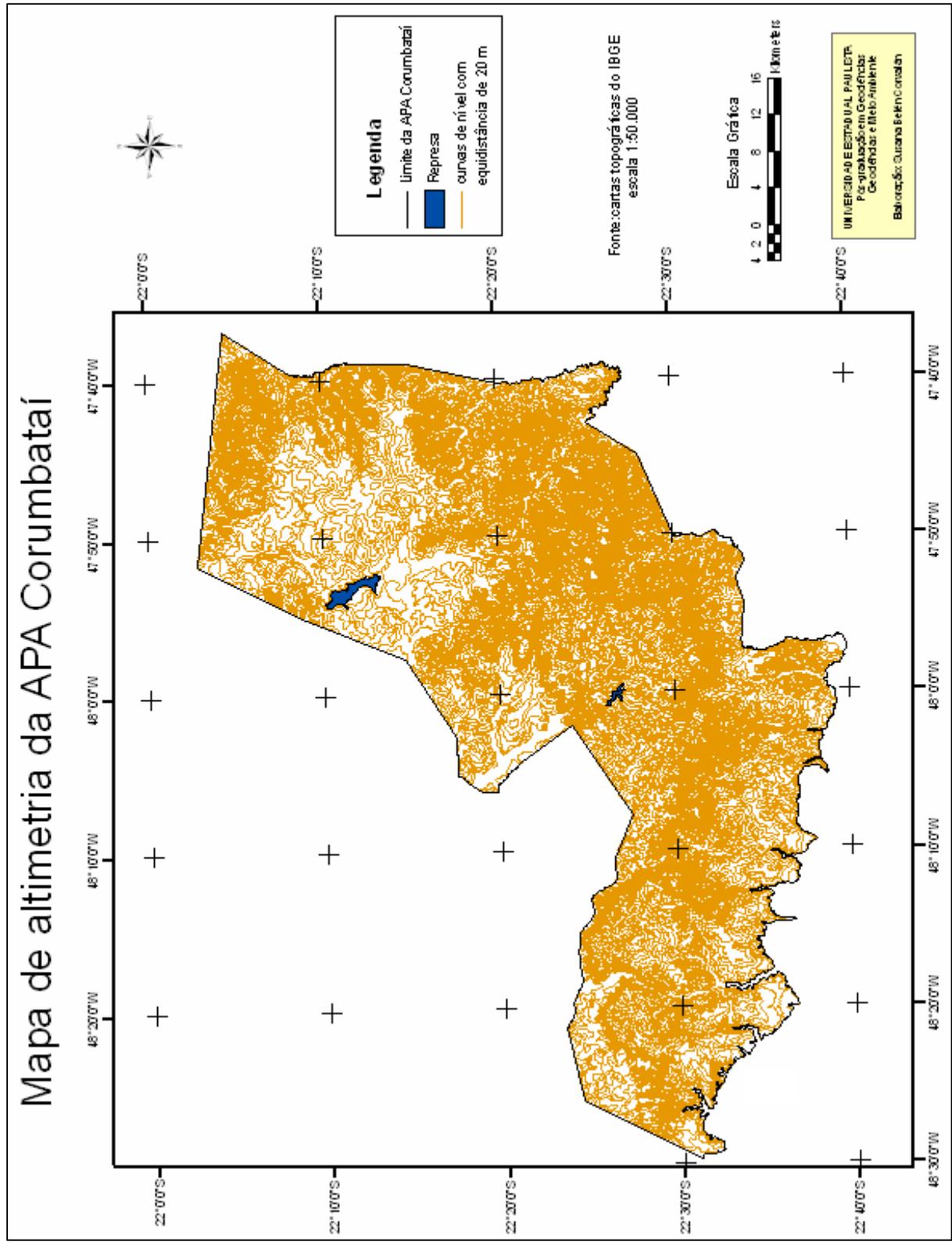


Figura 4 – Mapa de altimetria da APA Corumbataí. Fonte: carta topográfica do IBGE, escala 1:50.000.

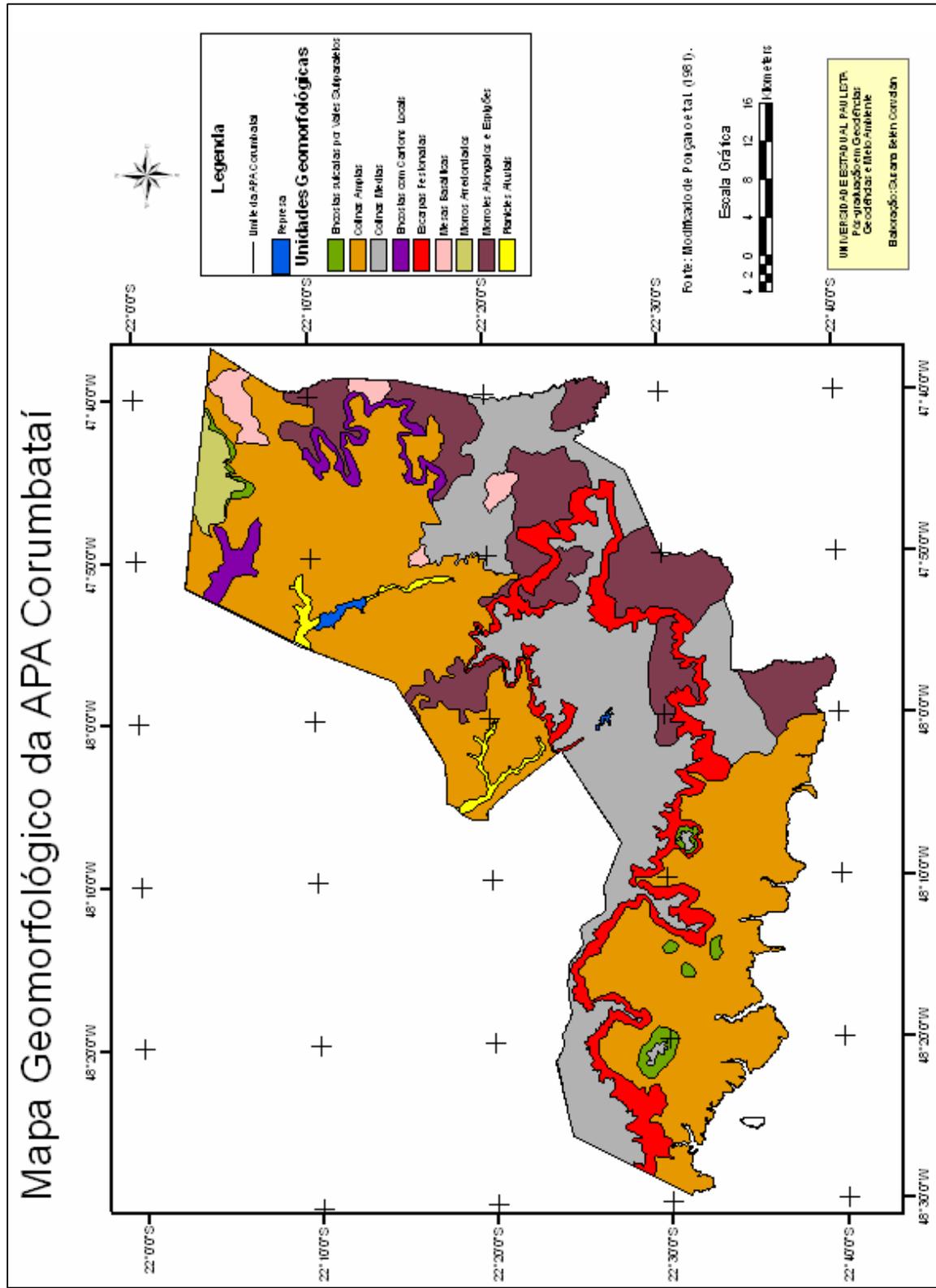


Figura 5 - Mapa Geomorfológico da área de estudo. Fonte: Modificado de Ponçano et al. (1981).

declividades médias entre 15 a 30%, vertentes com perfis retilíneos a convexos e trechos escarpados com drenagem de média densidade padrão pinulado, vales fechados formando localmente cânions e vales principais apresentando fundos chatos.

Também ocorrem relevos sustentados por maciços básicos, representados por **Mesas Basálticas**, de morros testemunhos isolados, com topos aplainados a arredondados, vertentes com perfis retilíneos, muitas vezes com trechos escarpados e exposições de rocha e vales, drenagem de media densidade, padrão pinulado e subparalelo e vales fechados. Observam-se em algumas áreas, **Escarpas Festonadas**, desfeitas em anfiteatros separados por espigões, com topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos, vales fechados e drenagem de alta densidade, de padrão subparalelo a dendrítico. As **Planícies Aluviais** se encontram nos vales dos rios Jacaré-Guaçú, Itaqueri e Jacaré-Pepira, representados por terrenos baixos mais ou menos planos, junto às margens desses rios.

No Quadro 2, estão representadas as principais características de cada classe de relevo (PONÇANO et al., 1981).

Quadro 2 - Principais características das Unidades de Relevo presentes na área de estudo. Fonte: Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (PONÇANO et al., 1981).

Formas de Relevo	Unidades Homogêneas	Principais características
Superfícies Aplainadas por acumulação	Planícies Aluviais	Terrenos baixos e mais ou menos planos, junto às margens dos rios, sujeitos à inundações periódicas.
Relevo de Degradação ou de desgaste por erosão, em Planaltos Dissecados.	Relevo colinoso: predominam baixas declividades, até 15% e amplitudes locais inferiores a 100 m.	
	Colinas Amplas	Predominam interflúvios com área superior a 4 Km ² , topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixas densidades, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.

	Colinas Médias	Predominam interflúvios com áreas de 1 a 4 Km ² , topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos. Drenagem de média a baixa densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais inferiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.
	Relevos de Morrotes: Predominam médias a altas declividades, acima de 15% e amplitudes locais inferiores a 100m.	
	Morrotes Alongados e Espigões	Constituem interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos a achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos. Drenagem de média a alta densidade, vales fechados.
	Relevos de Morros: Predomínio de declividades medias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100-200m.	
	Morros Arredondados	Topos arredondados, vertentes ravinadas de perfis retilíneos a convexos. Drenagem de média densidade, padrão subdendrítico, vales fechados.
Relevos Residuais Suportados por Litologias Particulares	Relevos suportados por Maciços Básicos	
	Mesas Basálticas	Morros testemunhos isolados (peões e baús), topos aplainados a arredondados, vertentes com perfis retilíneos, muitas vezes com trechos escarpados e exposições de rochas. Drenagem de média densidade, padrão pinulado a subparalelo, vales fechados.
Relevo de Transição	Encostas de Transição: amplitudes maiores que 100m e médias declividades (entre 15 e 30%).	
	Encostas Sulcadas por Vales Subparalelos	Desfeitas em interflúvios lineares de topos angulosos a arredondados, vertentes de perfis retilíneos. Drenagem de média densidade, vales fechados.

	Encostas com Cânions Locais	Vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de media densidade, padrão pinulado, vales fechados, localmente formando cânions, vales principais com fundos chatos.
	Encostas de Transição: amplitudes maiores que 100m e altas declividades (acima de 30%)	
	Escarpas Festonadas	Escarpas desfeitas em anfiteatros separadas por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos. Drenagem de alta densidade, vales fechados.

3.2.3. Aspecto Pedológico

O mapa de solos disponível, correspondente à área de estudo está referido em conformidade com a antiga classificação taxonômica do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. O Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS), órgão pertencente à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária adotou um novo Sistema de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999).

Segundo essa classificação, a ocorrência de solos presentes na área de estudo pertencem a seguintes ordens: Latossolo (1.113 km²), Argissolo (689 km²), Neossolo (827 km²), Gleissolo (32 km²), Nitossolo (26 km²) e Organossolo (23 km²) (Figura 6). A seguir é apresentada uma descrição de cada tipo dominante encontrado na APA Corumbataí.

Os Latossolos são constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte diagnóstico superficial, exceto H hístico. São solos intemperizados, muito evoluídos. São muito profundos e em geral são solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases. Os Latossolos Vermelho-Amarelo são predominantemente, de textura arenosa, bem drenados e muito lixiviados, com grande infiltração e pobres em matéria orgânica. Possuem alto grau de agregação dos colóides, o que os torna muito porosos, propiciando maior resistência a erosão. Os Latossolos Vermelhos apresentam matiz de 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (inclusive BA). Os Latossolos Vermelho-Amarelo apresentam resistente média à erosão e, geralmente está disposto em áreas de relevos planos ou suavemente ondulado.

Os Argissolos estão constituídos por material mineral, e tem como característica diferencial argila de atividade baixa e horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E. Apresentam saturação por bases baixa e/ou carácter alítico na maior parte do horizonte B. De

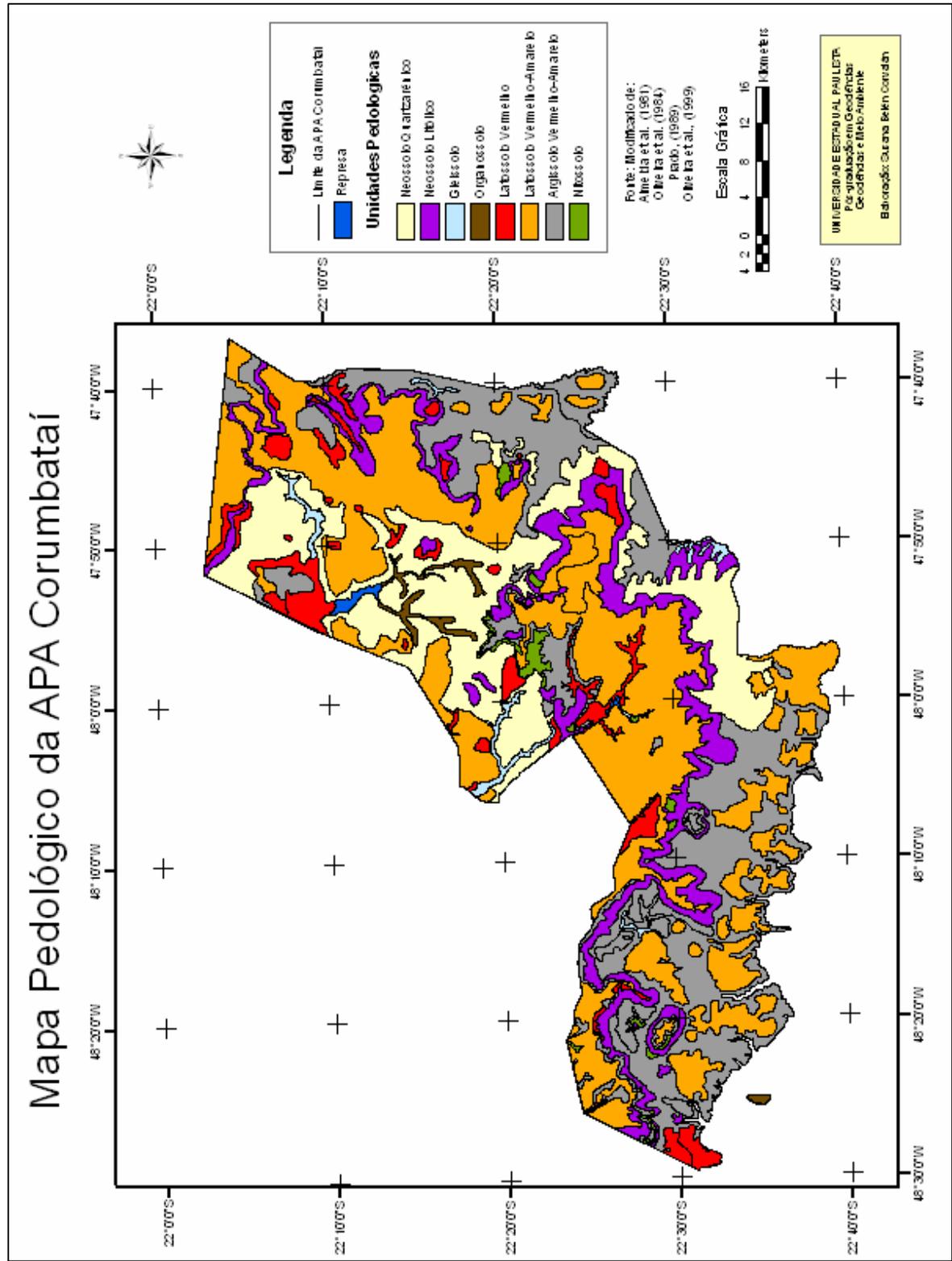


Figura 6 - Mapa Pedológico da área de estudo. Fonte: Modificado de Almeida et al. (1981), Oliveira et al. (1984); Prado (1989) e Oliveira et al. (1999).

profundidades variáveis, são forte até imperfeitamente drenados, de cores vermelhas ou amarelas, forte a moderadamente ácidos. Os Argissolos Vermelho-Amarelo são de cores vermelho-amareladas e amarelo-avermelhadas que não se enquadram nas seguintes classes: Solos com matiz 7,5YR ou mais amarelos na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B, inclusive BA (Argissolos Amarelos), solos com matiz 2,5YR ou mais vermelho ou com matiz 5YR e valores e cromas iguais ou menores que 4, na maior parte dos primeiros 100cm do horizonte B (Argissolos Vermelhos).

Os Neossolos estão constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso, com pequena expressão dos processos pedogenéticos devido à baixa intensidade de atuação desses processos. Caracterizam-se pela pequena espessura do *solum* e ausência ou espessura muito pequena de horizonte diagnóstico de subsuperfície, o que os torna bastante limitados para a atividade agrícola e agravados, ainda mais, pela ocorrência principalmente em faixas de relevo acidentado. Os Neossolos Quartzarênico formam depósito de tálus no sopé das escarpas, o qual é facilmente erodível.

Os Gleissolos são solos hidromórficos, ou seja, estão permanentemente ou periodicamente saturados de água, exceto os artificialmente drenados; apresentam material mineral, com horizonte glei nos primeiros 150 cm da superfície, o que lhes implica coloração cinza, azul ou verde, devido a compostos ferrosos resultantes da escassez de oxigênio.

Os Nitossolos são solos de material mineral, com horizonte B nítico de argila de atividade baixa, de textura argilosa a muito argilosa. Geralmente são solos moderadamente ácidos a ácidos, com saturação de bases baixa a alta.

Os Organossolos são solos pouco evoluídos, constituídos por matéria orgânica, de ambientes mal a muito mal drenados, ou ambientes úmidos de altitude elevada, de coloração preta, cinza escuro ou marrom e de elevados teores de carbono orgânico.

3.2.4. Característica Climática

Segundo o sistema de Köppen, em função das características de temperatura e precipitação, pode-se identificar para a grande área de estudo um clima tropical do tipo Cwa, com inverno seco e verão chuvoso. O período chuvoso estende-se de outubro a março e o seco de abril a setembro, com uma passagem gradual entre os dois períodos (ZAVATINI & CANO, 1993). Os municípios de Rio Claro, Itirapina, Ipeúna, Corumbataí, Dois Córregos e São Carlos apresentam este tipo de clima tropical.

Na depressão Periférica, ao sudoeste e sudeste da APA Corumbataí, os municípios de São Pedro e Barra Bonita apresentam clima tropical tipo Aw, tropical chuvoso com inverno seco e mês mais frio com temperatura média superior a 18°C. O mês mais seco tem precipitação inferior a 60 mm e com período chuvoso que se atrasa para o outono (CEPAGRI, 2008)

O tipo Am caracteriza o clima tropical chuvoso, com inverno seco, onde o mês menos chuvoso tem precipitação inferior a 60mm e ocorre no centro-sul, na localidade de Santa Maria da Serra. O mês mais frio apresenta temperatura média superior a 18°C.

A posição e altitude das serras, como as de Itaquerí e São Pedro, constituem importantes fatores, que modificam as características do clima na região, além da diminuição da temperatura provocada pelo aumento da altitude. Deve-se considerar o efeito orográfico em relação aos deslocamentos das massas de ar, com conseqüentes chuvas abundantes nos rebordos escarpados e no seu reverso imediato.

Verifica-se que as temperaturas médias anuais variam entre 18°C e 22°C (MONTEIRO, 2000). A média anual da precipitação para a região serrana está em torno de 1.450 mm e as temperaturas anuais médias de 18,7°C; já para as regiões mais baixas, a precipitação média anual não ultrapassa 1.250 mm e a temperatura média anual é de 20,5°C.

3.2.5. Uso da Terra e Cobertura Vegetal

Entende-se por uso da terra como a forma pela qual o espaço vem sendo ocupado pelo homem, quer dizer, a utilização cultural da terra, enquanto o termo cobertura da terra refere-se a todo seu revestimento (NOVO, 1988).

Segundo Ross (1994), o levantamento do uso da terra é de grande importância na medida em que esses efeitos do uso desordenado causam deterioração no ambiente.

Assim, a caracterização do uso da terra contribuí para o entendimento da distribuição das principais atividades econômico-produtivas da região, assim como uma melhor compreensão das inter-relações entre as formas de ocupação e a intensidade dos processos responsáveis pela degradação do meio físico.

Desde o descobrimento do Brasil pelos portugueses, os impactos de diferentes ciclos de exploração, da concentração das maiores cidades e núcleos industriais e da alta densidade demográfica, entre outras atividades, fizeram com que a vegetação natural fosse reduzida drasticamente.

Segundo Garcia (2008), a cafeicultura, as ferrovias com máquina a vapor e as numerosas olarias e serrarias do século XIX teriam sido responsáveis pelo desaparecimento dessa vegetação original, da qual existem hoje apenas vestígios.

O cerrado se estendia em épocas passadas no norte, ocupando Itirapina, sendo hoje representado por algumas manchas isoladas em função das perturbações como pecuária, extrativismo, fogo, abate seletivo que vem ocorrendo na região pelo menos há 100 anos (PAGANO et al., 1989a). As áreas de Itirapina e Analândia se enquadram principalmente no cerrado *stricto sensu* (PAGANO et al., 1989b). Na área onde Camargo (1988) descreveu a mata latifoliada tropical de encosta, também ocorre o campo cerrado.

Após a expansão da rede ferroviária para o interior, muitas áreas de cerrado cederam espaço aos reflorestamentos incentivados de *Eucalyptus sp* (CAVASSAN, 1990). Recentemente, além dessas áreas estão sendo ocupadas por atividades agropecuárias, principalmente, cana de açúcar, citricultura e gado bovino, este bioma vem cedendo lugar para a expansão urbana.

A Floresta Estacional Semidecidual (mata) presente na região está condicionada a dupla estacionalidade climática. Uma tropical, com época de intensas chuvas de verão, seguida por estiagem acentuada, e outra subtropical, sem período seco, mas com seca fisiológica provocada pelo frio do inverno.

Devido à acelerada ocupação antrópica na região, essas diversas formações florestais foram substituídas por pastagens e culturas. Atualmente, esta vegetação nativa ocupa áreas de relevo acidentado e de difícil acesso, ou acompanha os corpos de água formando as matas ciliares.

A região é subdividida em várias áreas de uso da terra, abrangendo as de vegetação nativa, áreas de atividade agrícola, áreas urbanas e as utilizadas para exploração de recursos minerais.

Podem-se citar alguns trabalhos desenvolvidos em regiões inseridas na APA Corumbataí. Koffler (1993) e Vettorazzi et al. (2000) em seus mapeamentos de uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Corumbataí, para os anos de 1991 e 1998, respectivamente, observaram a predominância da pastagem e cana de açúcar. Estes autores constataram que a floresta nativa ocupada 6,1% no ano de 1991 e 9,6 da área total da bacia no ano de 1998. Este aumento na área ocupada por floresta nativa foi confirmado também no inventário do Instituto Florestal (2003) que relatou um aumento de 2,86%, o correspondente a 808 km², em área

ocupada por Mata Atlântica, no Estado de São Paulo (ZORZETTO et al., 2003). É importante ressaltar que a porção oeste da Bacia do Rio Corumbataí (Municípios de Analândia, Itirapina, Ipeúna) está inserida na APA Corumbataí.

Valente & Vettorazzi (2003), com base no mapa de uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Corumbataí, produzido para o ano 2000, citam que existem na área da Bacia 11% da floresta nativa e 1,25% do cerrado *lato sensu* e que essa vegetação remanescente encontra-se ainda altamente fragmentada. Os remanescentes florestais pertencem às formações Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Riparia, Floresta Paludosa e Floresta Estacional Decidual (RODRIGUES, 1999). As culturas agrícolas, ainda segundo Valente & Vettorazzi (2003) predominam nessa paisagem, representando a pastagem aproximadamente 44% do uso do solo, seguida da cana de açúcar, com aproximadamente 26% da área total da bacia. Ainda ocorrem outros usos, como a fruticultura e plantios comerciais de eucalipto, representados por 3% e 7%, respectivamente. Antonello & Pinto (2009) citam que, para a Bacia do Rio Corumbataí, o uso é dado principalmente pela agropecuária, com cultura da cana-de-açúcar seguida de pastagens (na porção central-norte da bacia) e áreas esparsas de plantio de cítricos. Segundo esses autores, há áreas representativas também de floresta plantada, indicativo da atuação da indústria de celulose.

As sub-bacias do rio Passa-Cinco e Alto Corumbataí concentram as maiores áreas de floresta nativa e os melhores fragmentos (maiores, mais próximos uns dos outros e com melhor forma) da bacia (VALENTE & VETTORAZZI, 2002), e esses autores ressaltam ainda que, o cerrado ocorre predominantemente nessas sub-bacias, com alguns poucos fragmentos na sub-bacia do Ribeirão Claro.

Segundo o mapa de uso da Terra das Bacias Hidrográficas dos Rios Capivari e Jundiá- CBH-PCJ (2000), na escala 1:250.000, as categorias de uso e cobertura vegetal discriminadas foram: mata, cerrado, capoeira, vegetação de várzea, café, culturas anuais, fruticultura, cana de açúcar e pastagem e ou/ campo antrópico, apresentando uma dominância total sobre as outras categorias. Já Nascimento (2004), para a mesma área obteve resultados diferentes, citando um aumento na cana de açúcar e uma diminuição nas áreas de pastagem, embora não possa se confirmar uma substituição total de uma classe pela outra, pois a área de pastagem diminuiu 82%, enquanto a cana de açúcar aumentou 53%. Um resultado notório é o aumento na área de coberturas vegetais naturais (mata, cerrado, vegetação de várzea e capoeira) de 59%, aumento na cultura perene de 72% e uma diminuição de 17% na cultura anual.

Na região da APA Corumbataí ocorrem Áreas de Preservação Permanente (APP), que incluem “florestas e outras formas de vegetação natural, ao longo dos rios, ao redor das lagoas ou reservatórios d’água artificiais, nas nascentes dos rios, nos topos de morros, montes montanhas e serras, nas encostas ou partes delas, com declive superior a 45 graus equivalente a 100% na linha de maior declive”, conforme citado no artigo 2º do Código Florestal de 1965.

No entanto, em geral, observa-se a não obediência da largura mínima estabelecida pela Lei nº 7.803 de 8/7/1989 para a faixa de preservação permanente, notando muitos trechos ao redor dos cursos d’água e nascente chegando alguns setores à total ausência da mata ciliar, ocupada pelo uso extensivo de áreas de pastagem e, principalmente, cana de açúcar. Como consequência, os córregos e rios estão sujeitos a um maior assoreamento e perda d’água por evaporação e aceleração nos processos erosivos, principalmente nas margens e nas cabeceiras.

A falta de fiscalização e deficiência de recursos humanos agrava este quadro, impossibilitando o seu correto monitoramento. Juntas, as técnicas de Sensoriamento Remoto e a utilização de Sistemas de Informação Geográfica tem dado suporte, pois a integração destas técnicas permite a obtenção e análise dos resultados, permitindo a integração na geração de mapas temáticos e modelos digitais economizando tempo e uma melhora na qualidade do trabalho.

3.3 Aspectos Sócio-econômicos

Os municípios abrangidos pela APA Corumbataí são: 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).

O município São Carlos e o município Dois Córregos pertencem a Região Administrativa Central e de Bauru, respectivamente. Já os demais municípios pertencem a Região Administrativa de Campinas.

Barra Bonita é o menor município da área de estudo, com 150 km², população de 35.090 habitantes, densidade demográfica de 259,2 hab/km², taxa de alfabetização de 91,87%, grau de urbanização de 97,87% e taxa de crescimento de 1,22%. É um dos municípios paulistas considerados estância turística pelo Estado de São Paulo, por cumprirem determinados pré-requisitos definidos por Lei Estadual, o que lhe garante uma verba maior por parte do Estado para promoção do turismo regional. Foi em 1886 que Barra Bonita recebeu tal denominação, por estar situada as margens do Rio Tietê que encontrava-se com as

águas do córrego formando uma barra bonita. Nessa cidade encontra-se a barragem de Barra Bonita, que represa as águas do Rio Tietê, onde funciona a Usina Hidroelétrica Barra Bonita. Existe uma eclusa nesta barragem, de 25 metros de desnível e é usada por embarcações de turismo e cargas para passar para o outro nível da barragem, permitindo com isso a continuação da navegação no Rio Tietê (BARRA BONITA, 2008; SEADE, 2008).

O município de Charqueada possui uma área de 176 km², população de 14.356 habitantes, densidade demográfica de 83,7 hab/km², taxa de alfabetização de 90,58%, grau de urbanização de 92,28% e taxa de crescimento de 1,72%. Localizada a 600 m. de altitude é classificado pela EMBRATUR como Município com Potencial Turístico. Suas principais atividades econômicas são: monocultura canavieira, agropecuária, indústrias de pequeno e médio porte, comércio e turismo (CHARQUEADA, 2008; SEADE, 2008).

Ipeúna, fundada em 1890, apresenta uma área de 191 km² de área, população de 5.164 habitantes, densidade demográfica de 29,1 hab/km², taxa de alfabetização de 90,33%, grau de urbanização de 86,59% e taxa de crescimento de 4,04%. e Localizada a 620 metros acima do nível do mar, sua economia se baseia na agricultura e na indústria; o turismo neste município ainda é incipiente (IPEÚNA, 2008; SEADE, 2008).

Santa Maria da Serra possui uma extensão territorial de 256 km², população de 5.417 habitantes, densidade demográfica de 19,4 hab/km², taxa de alfabetização de 88,42%, grau de urbanização de 87,52% e taxa de crescimento de 0,91% (SANTA MARIA DA SERRA, 2008; SEADE, 2008).

O município Mineiros do Tietê, localizado a 669m de altitude, possui 212 km² de área, 11.760 habitantes, densidade demográfica de 60,6 hab/km², taxa de alfabetização de 87,28%, grau de urbanização de 96,99% e taxa de crescimento de 1,77% (MINEIROS DO TIETÊ, 2008; SEADE, 2008).

Corumbataí possui uma extensão territorial de 278 km², população de 3.935 habitantes, densidade demográfica de 15,3 hab/km², taxa de alfabetização de 92,03%, grau de urbanização de 49,26% e taxa de crescimento de 1,89% (CORUMBATAÍ, 2008; SEADE, 2008).

Torrinha possui uma área de 311 Km², população de 8.918 habitantes, densidade demográfica de 31,6 hab/km², taxa de alfabetização de 92,03%, taxa de crescimento de 1,36% e grau de urbanização de 86,28% (TORRINHA, 2008; SEADE, 2008).

Itirapina é a cidade localizada na maior altitude, encontrando-se a 770m. O município possui uma área de 564 km², uma população de 13.889 habitantes, densidade demográfica de 26,5 hab/km², taxa de alfabetização de 91,69%, grau de urbanização de 90,72% e taxa de crescimento de 2,60% (ITIRAPINA, 2008; SEADE, 2008).

São Pedro apresenta 618 km² de área, 29.733 habitantes, densidade demográfica de 54,4 hab/km², taxa de alfabetização de 97,07%, grau de urbanização de 86,42% e taxa de crescimento de 3,13%. Está localizada a 550 mt de altitude e, ao igual que Barra Bonita, é considerado Estância Turística pelo Estado de São Paulo (SÃO PEDRO, 2008; SEADE, 2008).

São Carlos possui 1.141 km² de extensão, 212.956 habitantes, densidade demográfica de 188,44 hab/km², taxa de alfabetização de 94,8%, grau de urbanização de 96,17% e taxa de crescimento de 1,94%. A cidade tem um perfil industrial ativo, possuindo unidades de produção de várias empresas multinacionais, embora o setor agrícola mantém-se ativo, com a produção de leite e laticínios, cana-de-açúcar e laranjas, entre outros (SÃO CARLOS, 2008; SEADE, 2008).

São Manuel apresenta 651 km² de superfície, 37.797 habitantes, densidade demográfica de 61,2 hab/km², taxa de alfabetização de 89,3%, taxa de crescimento de 1,30% e grau de urbanização de 93,93%. A sua economia se baseia nas indústrias: Usina Açucareira São Manuel, cervejaria Belco, a Soletrol (desenvolvimento de equipamentos para o uso de energia solar) e a indústria Têxtil Elisabeth S/A (SÃO MANUEL, 2008; SEADE, 2008).

O município de Brotas é o maior da APA, além de ser um dos maiores municípios em área do estado de São Paulo, com 1.101 km² de superfície. A sua população é de 20.996 habitantes, possui uma densidade demográfica de 20,26 hab/km², taxa de alfabetização de 90,69%, taxa de crescimento de 2,58% e grau de urbanização de 89,48%. A atual administração municipal vem desenvolvendo uma economia turística baseada nos seus recursos naturais, como cachoeiras e rios, matas preservadas e serras, visando uma alternativa de desenvolvimento sustentável para o município. Apesar de historicamente ter seu desenvolvimento econômico baseado no cultivo do café, Brotas é conhecida pelo turismo de aventura, no rio Jacaré Pepira. Atualmente a economia do município baseia-se na agropecuária, principalmente no cultivo de cana-de-açúcar e laranja (BROTAS, 2008; SEADE, 2008)

Rio Claro possui 498 km² de área, uma população de 185.421 habitantes, densidade demográfica de 372,3 hab/km², taxa de alfabetização de 94,90, taxa de crescimento de 1,87% e grau de urbanização de 97,87% (RIO CLARO, 2008; SEADE, 2008).

Dois Córregos apresenta 633 km² de área, população de 24.384 hab, densidade demográfica de 39.9 hab/km², taxa de alfabetização de 88,99%, taxa de crescimento de 1,55% e grau de urbanização de 92,08% (DOIS CÓRREGOS, 2008; SEADE, 2008).

Analândia foi fundada em 1897 e possui uma extensão territorial de 327 km², população de 4.166 habitantes, densidade populacional de 11,62 hab/km², taxa de alfabetização de 92,02%, grau de urbanização de 80,26% e taxa de crescimento de 1,80%. Situada a 734 m de altitude, o município passou à categoria de Estância Climática devido a qualidade de sua água e principalmente do seu clima. A presença de diversos atrativos naturais, como morros testemunhos, cachoeiras e quedas da água conferem a Analândia a pratica do turismo rural, ecológico e de aventura (ANALÂNDIA, 2008; SEADE, 2008).

Os municípios com as principais características estão visualizadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Características sócio-econômicas dos municípios da APA Corumbataí

Município	Area	População	Densidade Demográfica	Taxa de alfabetização	Grau de Urbanização	Taxa de crescimento
Barra Bonita	150 km ²	35.090	259,2 hab/km ²	91,87%	97,87%	1,22%
Charqueada	176 km ²	14.356	83,7 hab/km ²	90,58%	92,28%	1,72%
Ipeúna	191 km ²	5.164	29,1 hab/km ²	90,33%	86,59%	4,04%
Santa Maria da Serra	256 km ²	5.417	19,4 hab/km ²	88,42%	87,52%	0,91%
Mineiros do Tietê	212 km ²	11.760	60,6 hab/km ²	87,28%	96,99%	1,77%
Corumbataí	278 km ²	3.935	15,3 hab/km ²	92,03%	49,26%	1,89%
Torrinha	311km ²	8.918	31,6 hab/km ²	92,03%	86,28%	1,36%
Analandia	327 km ²	4.166	11,62 hab/km ²	92,02%	80,26%	1,80%
Itirapina	564 km ²	13.889	26,5 hab/km ²	91,69%	90,72%	2,60%
São Pedro	618 km ²	29.733	54,4 hab/km ²	97,07%	86,42%	3,13%
São Carlos	1.141 km ²	212.956	188,44 hab/km ²	94,80%	96,17%	1,94%
São Manuel	651 km ²	37.797	61,2 hab/km ²	89,30%	93,93%	1,30%

4 - MATERIAL E MÉTODO

As etapas executadas no presente trabalho, para Zoneamento Ambiental da APA Corumbataí são esquematizadas no diagrama de fluxo de trabalho (DFT), apresentado na Figura 7 e serão descritas a seguir:

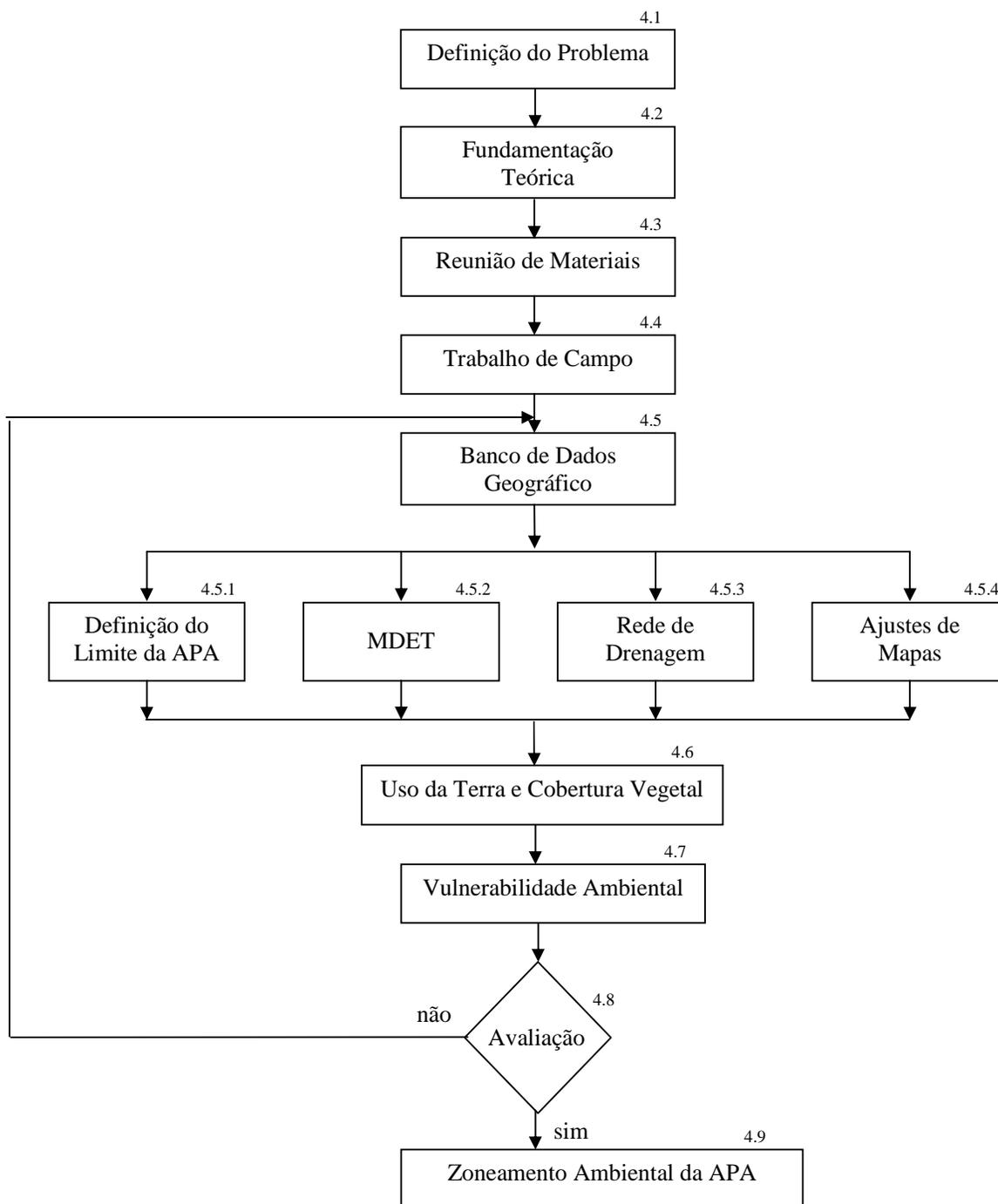


Figura 7 - Diagrama geral do fluxo de trabalho.

4.1. Definição do Problema

A etapa de definição do problema foi abordada no item 1.1

4.2. Fundamentação Teórica

Toda a revisão bibliográfica necessária ao embasamento teórico deste trabalho é apresentada no item 2 – Fundamentação Teórica. Várias outras publicações foram consultadas e analisadas, mas não fazem parte da presente tese.

4.3. Reunião de Materiais

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados documentos cartográficos, como mapas temáticos (geologia, geomorfologia e pedologia, em formato analógico), cartas topográficas (IBGE, 1:50.000 em formato digital e analógico) e imagens de satélite multiespectral do CCD/CBERS-2.

Para cobrir a área de estudo precisaram ser utilizadas nove cartas topográficas (IBGE), em escala 1:50.000, cedidas pelo Instituto Florestal (IF), em formato digital e analógico. A relação das cartas topográficas utilizadas é apresentada abaixo e um esquema da disposição das cartas na área de estudo pode ser visualizado na Figura 8.

- Itirapina, SF-23-M-I-3 (1969)
- São Carlos, SF-23-Y-A-I-1 (1971)
- Corumbataí, SF-23-Y-A-I-2(1971)
- Rio Claro, SF-23-M-I-4(1969)
- Brotas, SF-22-Z-B-III-4(1974)
- Barra Bonita, SF-22-Z-B-VI-1(1974)
- Santa Maria da Serra, SF-22-Z-B-VI-2(1974)
- Dois Córregos, SF-22-Z-B-III-3(1974)
- São Pedro, SF-23-M-III-1(1969)

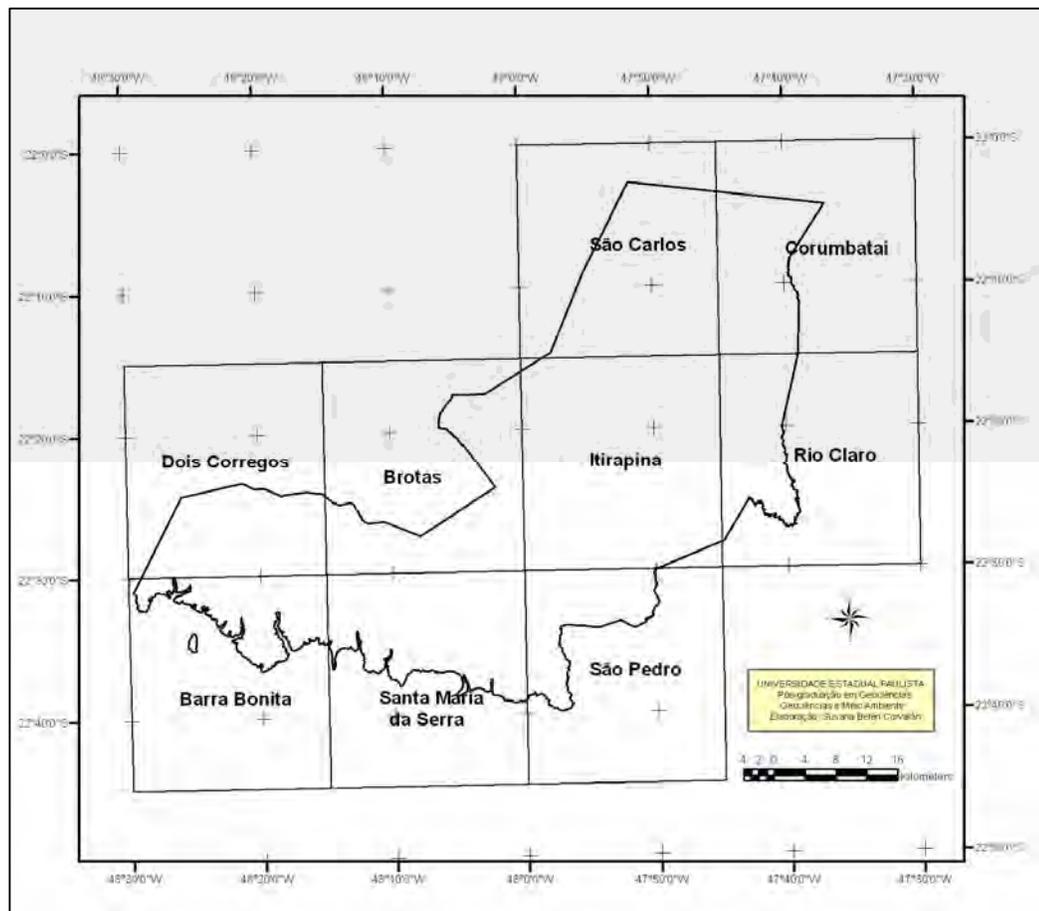


Figura 8 - Relação das folhas topográficas do IBGE (escala 1:50.000), necessárias para cobrir a área da APA Corumbataí.

Das nove cartas topográficas foram extraídas as informações da rede de drenagem e altimetria (pontos cotados e curvas de nível com equidistância de 20m), para a posterior elaboração do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET) e do mapa de declividade.

Usando as cartas topográficas como base cartográfica foi também delimitada a APA, seguindo as indicações de delimitação contidas no “Anexo 1 do Decreto Estadual nº 20.960, de 8 de Junho de 1983”.

Além das cartas, foram utilizados os seguintes mapas temáticos em formato analógico:

- Mapa Pedológico semi-detalhado, quadrícula Brotas, escala 1:100.000 (ALMEIDA et al., 1981);

- Mapa Pedológico semi-detalhado, quadrícula São Carlos, escala 1:100.000 (OLIVEIRA et al., 1984);

- Mapa Pedológico semi-detalhado, quadrícula Piracicaba, escala 1:100.000 (PRADO, 1989);
- Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000 (OLIVEIRA et al, 1999);
- Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:500.000 (ALMEIDA et al., 1981);
- Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo: escala 1:500.000 (PONÇANO et al., 1981).

Além destes mapas, foram utilizadas imagens de satélite CCD/CBERS-2, órbita 156, ponto 125, correspondentes a passagem do dia 31 de Outubro de 2006, no DATUM Córrego Alegre, bandas 2, 3 e 4, em formato digital (matriz). Essas imagens foram obtidas gratuitamente através do catalogo de imagens do INPE, no site www.dgi.inpe.br/cdsr, com *pixel* de 20m. A partir das mesmas foi elaborado o mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal.

Dentre os programas computacionais e equipamentos utilizados citam-se:

- Autodesk Map[®], versão 2004
- ArcGIS[®], versão 9.2
- SPRING[®], versão 4.3.3
- GPS TrackMaker[®], versão 13.1
- Câmera fotográfica digital
- GPS

4.4. Trabalho de Campo

Foram realizadas saídas de campo nos meses de Fevereiro e Março de 2007, percorrendo a área da APA pelas principais vias de acesso.

Foram visitados todos os municípios na área de APA Corumbataí procurando-se diferenciar, identificar e localizar os diferentes usos e coberturas da Terra, utilizando um aparelho GPS e uma máquina fotográfica digital.

No trabalho de campo procurou-se avaliar de forma geral o estado de conservação da vegetação nativa, observando-se na maioria dos casos vestígios de mata ciliar, que em geral encontra-se substituída por pastagem (ou campo antrópico) ou cana de açúcar, inclusive em pequenas porções localizadas no topo da serra.

As informações obtidas no trabalho de campo foram de extrema importância na elaboração do mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal, além de proporcionar uma visão geral do uso atual na APA e de permitir a identificação de zonas de maior pressão antrópica.

4.5. Banco de Dados Geográfico

Inicialmente elaborou-se um Banco de Dados Digital Georreferenciado em ambiente SIG, onde trabalhou-se com as cartas topográficas da área, já em formato digital.

Nelas foram feitas correções dos erros decorrentes do processo de digitalização, como linhas duplas (ou inexistentes), ajuste e atualização de hidrografia, tendo como base a imagem CCD/CBERS-2.

O Banco de Dados teve como base cartográfica as cartas topográficas IBGE 1:50.000, no *datum* Córrego Alegre e na projeção UTM. Nessa base foram inseridos e processados todos os dados utilizados no presente trabalho e gerados todos os mapas e informações.

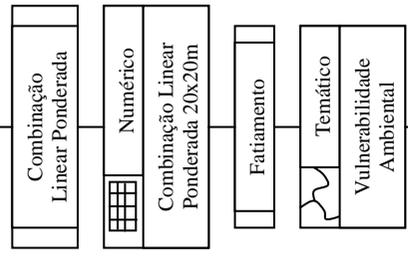
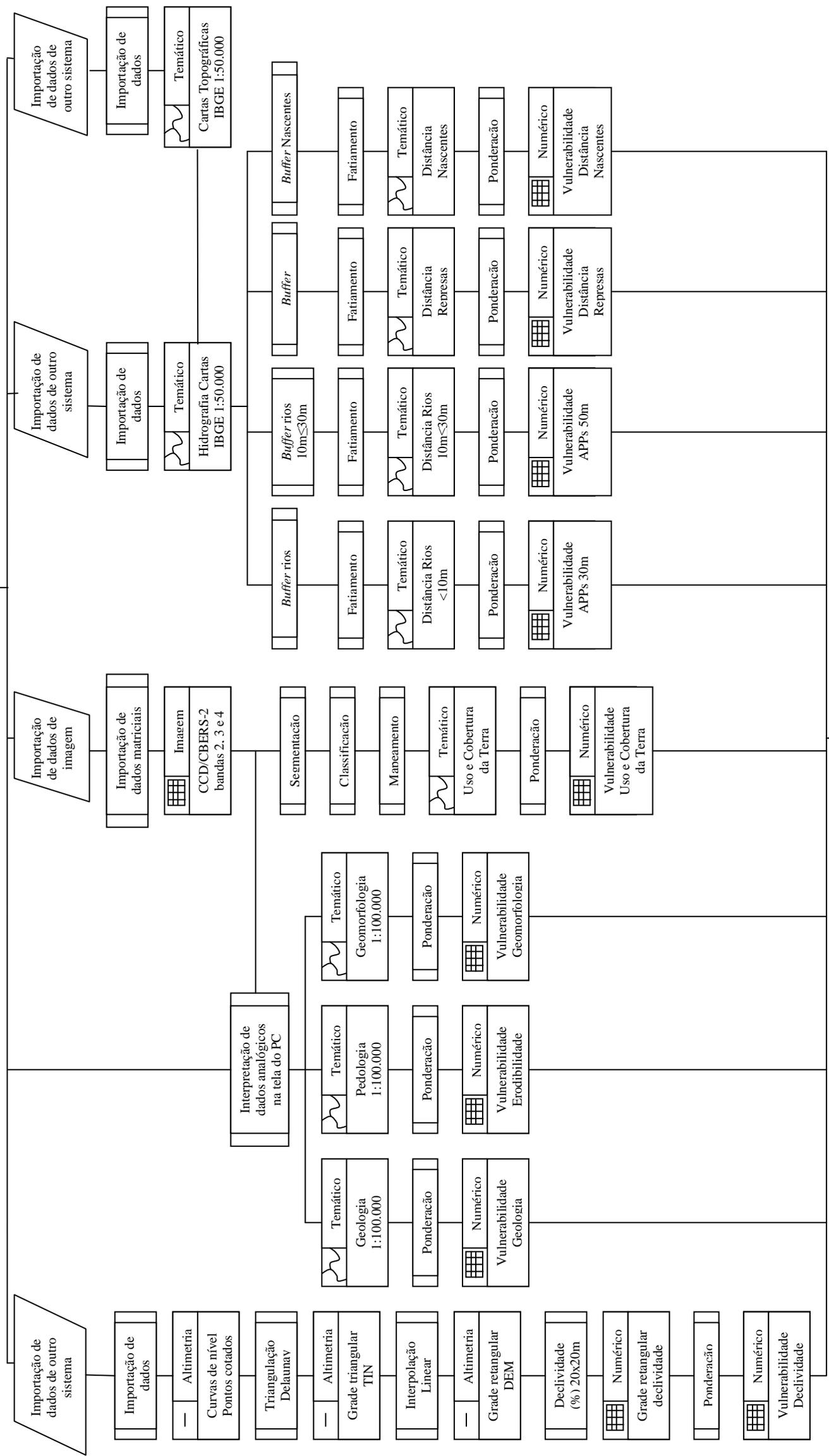
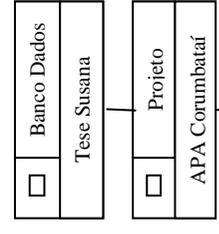
Na Figura 9 é apresentado o modelo conceitual GeoOMT (Geological Object Modelling Technique) do Banco de Dados Digital, conforme propõe Borges (1997), montado no sistema de informação geográfica.

4.5.1. Definição do Limite da APA.

Após a elaboração do Banco de Dados em ambiente SIG, executou-se a delimitação da APA, usando as informações contidas no Anexo 1 do Decreto Estadual nº 20.960 de 8 de Junho de 1983.

O Limite da APA Corumbataí, determinado pelo Anexo 1 do Decreto Estadual nº 20.960 de 8 de Junho de 1983 está delimitado por vinte e seis pontos, onde são trechos estabelecidos por cruzamento de estradas, rios, encontro de rios, pontos cotados, entre outros (ANEXO 1 deste trabalho).

Na demarcação foram utilizadas nove cartas topográficas do IBGE, na escala de 1:50.000, todas editadas nas décadas de 1960 e 1970.



4.5.2. MDET

Um Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial, que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Ele é um dos planos de informação necessário, para o cálculo da declividade, sendo essencial, para gerar o mapa referente ao fator declividade.

Para gerar um MDET, vários métodos podem ser utilizados, como os algoritmos Modelo Irregular Triangular (TIN), o inverso da potência da distância, a curvatura mínima, a regressão linear e *Kriging*.

Os dados utilizados para a geração do MDET da APA estão representados por curvas de nível, (com equidistância de 20m) que representam a superfície através de isolinhas contidas nos mapas topográficos, com coordenadas XYZ, onde Z caracteriza o parâmetro a ser modelado, neste caso a altitude. Para isso, foi necessária a re-edição desses dados, uma vez que nos arquivos já existentes havia ocorrência de erros como falta de isolinhas, linhas duplas, e até com valores de altitude incertos.

O modelo adotado para gerar o MDET neste trabalho, é o modelo irregular de triângulos (TIN). Uma grade irregular de triângulos é um poliedro de faces triangulares, onde os pontos amostrados são conectados por linhas para formar triângulos. Assim, os valores de cota dos vértices dos elementos triangulares da malha triangular não precisam ser estimados por interpolações. A geração do modelo compreende, então, a construção de uma malha triangular irregular e a definição de funções interpolantes. As funções de interpolação são definidas para cada triângulo da malha em um processo conhecido como ajuste de superfície.

O mapa hipsométrico representa as classes de altitude, através de seqüências cromáticas convencionais, conhecidas como cores hipsométricas. Os mapas hipsométricos foram obtidos por uma reclassificação dos MDT's em intervalos de altitudes pré-definidos, agrupados em sete classes que vão desde valores de 400 a 1.060 m de altitude.

A declividade em uma posição da superfície é definida por um plano tangente àquela posição da superfície modelada pelo MDET. É composta por dois componentes: o gradiente, que é a declividade propriamente dita, também chamada de máxima razão de variação de cota Z e a exposição, que é a direção dessa máxima razão de variação de cota, sendo uma medida no sentido horário, variando de 0 a 360° a partir do norte.

Foi produzido o MDET da APA Corumbataí adotando a interpolação por triangulação (TIN), a partir das curvas de nível e pontos cotados, das nove cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000 (equidistância 20 m). Como produtos derivados foram obtidos, utilizando o módulo *Spatial Analyst*, o mapa hipsométrico e mapa de declividade.

4.5.3. Rede de Drenagem

Para confecção do mapa da rede de drenagem da APA Corumbataí utilizou-se a informação dos cursos d'água e represas disponíveis nas cartas topográficas do IBGE, na escala 1:50.000.

Nas cartas topográficas utilizadas, a maior parte dos cursos d'água apresentam traço simples, ou seja, assume-se que possuem largura menor que 10m, já que o erro cartográfico assumido pelo IBGE é de 0,2mm (IBGE, 2008). Apenas os rios Araçua e Passa Cinco são cartografados com linha dupla. Quanto às represas, duas são as principais: a do Lobo ou Broa e a do Jacaré-Pepira, embora haja inúmeras pequenas represas, açudes ou lagoas em áreas rurais.

Toda a hidrografia disponível, nas cartas topográficas do IBGE fazem parte de um *layer* em formato AutoCad, que foi importado para o Banco de Dados Geográfico em ambiente SIG, utilizando o *software* SPRING em formato vetorial (linhas e polígonos).

Esse dado vetorial foi georreferenciado com base na imagem CCD/CBERS-2.

Para o presente trabalho a informação da localização das nascentes é de fundamental importância, pois são áreas de preservação permanente (APPs) protegidas por lei e que deveriam manter-se conservadas.

Como as cartas topográficas do IBGE, na escala 1:50.000, não trazem essa informação, considerou-se que o início de cada rio configura-se como uma área de nascente. Desta forma, em ambiente AutoCad, atribuiu-se um ponto em cada início de rio, em toda a área de estudo. Ao todo foram digitalizados 1848 pontos que foram importados para o Banco de Dados Geográfico em ambiente SIG, utilizando o *software* SPRING em formato vetorial (pontos).

A rede de drenagem, com os rios de traço simples formam um PI no Banco de Dados Geográfico em ambiente SIG, utilizando o *software* SPRING; os rios de traço duplo e a represa do Jacaré-Pepira formam outro PI, já a represa do Lobo ou Broa e a margem direita da represa de Barra Bonita formam outro PI e finalmente as nascentes formam ainda outro PI.

A partir de cada um desses PIs, trabalhados individualmente obtiveram-se os mapas do fator Distância dos Recursos Hídricos e o de delimitação das APPs da faixa de mata ciliar.

4.5.4. Ajustes de Mapas

Disponha-se, inicialmente, do mapa geológico em escala 1:500.000 (ALMEIDA et al., 1981), em formato analógico. Posteriormente, o mesmo foi digitalizado via *scanner*. Este mapa foi 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 para a área de estudo. Este mapa é um arquivo vetorial no Banco de Dados Geográfico, em ambiente SIG.

O procedimento de adequação dos dados, efetuando um ajuste dos mesmos em ambiente digital, com base na imagem CCD/CBERS-2, justifica-se pela diferença entre a escala de trabalho adotada (1:100.000) e a escala do mapa original (1:500.000).

Para a obtenção dos mapas de unidades geomorfológicas e de unidades pedológicas foi aplicado o mesmo procedimento, sendo que o mapa de unidades geológicas foi utilizado como base na determinação das unidades geomorfológicas e pedológicas.

Quanto ao mapa pedológico, os mapas em escala 1:100.000 das folhas Piracicaba, São Carlos e Brotas abrangem a maior área da APA. Já para cobrir a parte sul da área foi usado o mapa pedológico na escala 1:500.000 de Oliveira et al. (1999), o qual teve de ser adequado (via ajuste dos dados) para a escala 1:100.000. Além disso, efetuou-se uma reclassificação das unidades pedológicas para a nova classificação brasileira (EMBRAPA, 1999).

O mesmo procedimento foi adotado no caso do mapa geomorfológico, que se encontrava originalmente na escala 1:500.000 (PONÇANO et al., 1981).

Os mapas geológico, geomorfológico e pedológico foram apresentados nas Figuras 3, 4 e 5, respectivamente e cada um deles dará origem aos mapas dos fatores: Geologia, Geomorfologia e Pedologia, respectivamente.

4.6. Uso da Terra e Cobertura Vegetal

O levantamento do uso da terra é de fundamental importância para a compreensão da organização do espaço e suas mudanças, dada sua variabilidade na escala de tempo. Nesse contexto, é vital a sua atualização e compreensão de sua distribuição e dinâmica, por meio de registros constantes de uso da terra (imagens orbitais ou fotos aéreas), dessa forma podem ser identificadas e analisadas tendências que venham a gerar modelos de previsão.

Para a elaboração do mapa Uso da Terra e Cobertura Vegetal foi realizado o pré-processamento da imagem de satélite CCD/CBERS-2, no programa SPRING, que consiste no georreferenciamento (ou registro) e no contraste linear das bandas.

Nesta primeira etapa foi realizado o registro, banda por banda. As imagens do CCD/CBERS-2 apresentam certa correção geométrica, mas estão sujeitas as incertezas oriundas dos dados de efemérides e de altitude, usados no processo de correção, podendo

assim apresentar erros de até 10 km (SPRING, 2009). O registro elimina o erro de posicionamento, sendo necessário mesmo quando o erro é de algumas centenas de metros.

A coleta dos pontos de controle foi obtida a partir das cartas topográficas, visando sempre serem facilmente identificáveis, tanto na carta como na imagem. Desta forma, foram escolhidos para a banda três, seis pontos distribuídos por toda a área, com menor erro médio quadrático (abaixo de um *pixel*/menor que 20 m). Assim, o sistema de coordenada original da imagem foi transformado para o sistema de referencia definido por esses pontos, através de uma relação entre os sistemas de coordenadas do mapa e o da imagem. Desta forma, o sistema aplica um polinômio que ajusta a imagem, neste caso foi feita uma transformação de primeiro grau, o erro dos pontos controle para a banda 3 foi de 0,66 *pixel*.

Embora com um valor de erro dos pontos de controle adequado, observou-se que havia um deslocamento sistemático dos dados de drenagem, quando comparados com a imagem CCD/CBERS-2. Com o intuito de solucionar este problema, foi feito um ajuste via edição vetorial desses dados, em ambiente SIG.

Já as bandas 2 e 4 foram georreferenciadas tendo como base a banda 3, dando um erro médio quadrático de 0.353 *pixel* para a banda 2 e de 0.785 *pixel* para a banda 4.

Após o registro, aplicou-se um contraste linear em cada banda, o que resulta na apresentação da mesma informação dos dados brutos, porém, de uma forma mais clara para sua interpretação. Não existe uma regra que melhor se aplique ao realce de contraste de uma imagem, pelo que foram testados e gerados vários contrastes para cada banda, escolhendo o melhor (maior diferenciação e visualização dos alvos) para cada uma delas.

Para se ter uma primeira visualização e interpretação da imagem, foram feitas composições coloridas 342 RGB e 432 RGB, sendo criadas imagens sintéticas para uma mais rápida visualização. Assim, estas composições coloridas auxiliam na identificação de qualquer alvo, seja no uso ou cobertura da terra.

Quando se trabalha com imagens de satélite no período de estiagem (Junho-Agosto) é possível identificar diferentes usos que se confundem geralmente na fotointerpretação, como as áreas de cana de açúcar e de pastagem, pois a última se apresenta em declínio enquanto a cultura mantém seu vigor, embora uma outra forma de distinguir a cana de açúcar seja pela textura e forma características da cultura em imagens de satélite.

A data de obtenção da imagem normalmente utilizada para este tipo de mapeamento é dos meses de Julho e Agosto, porém, observou-se que essas imagens (pelo azimute e ângulo

de elevação solar), apresentavam áreas sombreadas em decorrência da presença das serras. Para evitar perder informação nessas áreas que, circunstancialmente ficariam na sombra nessa época do ano é que foi selecionada uma imagem correspondente ao mês de Outubro, a qual alia pouco sombreamento com presença mínima de cobertura de nuvens.

Na realização do procedimento computacional semi-automático de segmentação, classificação e mapeamento utilizou-se uma imagem CCD/CBERS-2 de 31 de Outubro de 2006. Para avaliar a eficácia na identificação das classes mapeadas foi utilizada uma imagem CCD/CBERS-2 do mês de Julho de 2006, previamente inserida e georreferenciada no banco de dados geográfico.

O seguinte passo foi a segmentação de cada uma das bandas já contrastadas. Entende-se por isso a divisão da imagem em regiões (conjunto de *pixels* contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade) que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação. Foi escolhida a técnica de agrupamento de *pixels* denominada de crescimento de regiões, onde inicialmente cada *pixel* é rotulado como uma região distinta, com a particularidade que somente as regiões adjacentes podem ser agrupadas. Imediatamente é calculado um critério de similaridade (baseado num teste de hipótese estatístico, que testa a media entre regiões) para cada par de regiões adjacentes espacialmente. A seguir, divide-se a imagem em um conjunto de sub-imagens e então, realiza-se a união entre elas, segundo um limiar de agregação definido.

Foram testados diversos critérios de similaridade (10, 15 e 25) e vários valores de área mínima de *pixels*/limiar de agregação definido (20, 30 e 50).

O seguinte passo é a classificação propriamente dita, que consiste na extração de informação da imagem para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Os métodos de classificação são usados para mapear áreas da superfície terrestre, que apresentam um mesmo significado em imagens digitais.

Neste trabalho foi feita uma classificação não supervisionada, onde os padrões de resposta espectral dominantes que ocorrem em uma imagem são extraídos, através de algoritmos capazes de reconhecer as classes presentes e posteriormente, essas classes identificadas são corroboradas, através de confirmação no terreno (verdade terrestre). Os classificadores por regiões utilizam, além de informação espectral de cada "*pixel*", a informação espacial que envolve a relação entre os "*pixels*" e seus vizinhos, reconhecendo áreas homogêneas da imagem, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. Optou-se pelo classificador *Isoseg* que é um algoritmo de agrupamento de dados não-

supervisionado, para classificar regiões de uma imagem segmentada e que segundo Guisard et al. (2007) gera menos confusão entre classes. É aplicado sobre o conjunto de regiões, que por sua vez são caracterizadas por seus atributos estatísticos de média, matriz de covariância, e também pela área. Para isso se define um limiar de aceitação, em porcentagem; quanto maior for o limiar, menor será o número de classes detectadas pelo algoritmo. Foram testados os limiares de aceitação: 99,9%, 99%, 95%, 90%, e 75%,

Após o mapeamento utilizou-se a ferramenta edição vetorial, para correção das áreas com erros e inclusão de polígonos não classificados, sendo esta última a fase mais demorada e exaustiva, devido à dimensão da área de estudo.

As classes determinadas para o mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal foram:

-cana de açúcar: áreas que estavam cobertas com a cultura cana de açúcar em seus vários estádios, inclusive áreas de queimadas e áreas preparadas para seu cultivo;

-mata: áreas ocupadas por Floresta Estacional Semidecidual, tipo de vegetação condicionada a estacionalidade climática (verão chuvoso e inverno seco) e pela mata ciliar (também chamada de floresta riparia), que é o adensamento da vegetação localizada ao longo do curso dos rios, que protege a margem dos rios da erosão e abriga os animais silvestres;

-reflorestamento: áreas ocupadas por plantios de *Pinus* e *Eucaliptus* para fins comerciais

-solo exposto: áreas onde o solo estava descoberto quando da passagem do satélite, podendo ser áreas que estão sendo preparadas para cultivo de cultura perene ou anual (exceto cana de açúcar)

-área urbana: áreas ocupadas pela presença de sedes dos municípios da APA, bairros rurais, etc, enfim, áreas com predominância de construções;

-pastagem: áreas ocupadas pela pecuária intensiva e extensiva, ou seja, pelo pasto cultivado e/ou áreas de campo antrópico;

-cerrado, áreas cobertas por vegetação de cerrado, constituído por dois estrados, um superior com arbustos e árvores que raramente ultrapassam os 6 metros de altura, e outro inferior, com vegetação rasteira herbacea-arbustiva;

-cultura anual: áreas ocupadas por milho, sorgo, mandioca, etc;

-cultura perene: áreas ocupadas por café, citricultura, entre outros;

-outros: áreas onde o uso foi indeterminado e/ou áreas de planícies aluvionais;

- água: áreas cobertas por água como pequenas represas, lagoas, lagos, etc.
- mineração: áreas com evidências de mineração

4.7. Vulnerabilidade Ambiental

Para definir o grau de Vulnerabilidade Ambiental da APA foram levados em consideração vários critérios (indicadores-chaves), conforme a capacidade dos recursos naturais de resistir à degradação. A escolha desses critérios, na fase de tomada de decisão, requer um amplo conhecimento do objeto em estudo, de forma a permitir uma análise sistemática dos potenciais critérios e como eles poderiam influenciar na decisão.

Nesse contexto, foram identificados dois grupos de critérios: aqueles que apresentam graus de aptidão para esse mesmo fim, denominados fatores, e os que conferem uma restrição total à análise de vulnerabilidade, chamados de restrições.

Os mapas de fatores determinam superfícies contínuas, que representam uma variação gradual do grau de vulnerabilidade, podendo influir positiva ou negativamente.

Dessa forma foram trabalhados sete fatores e uma restrição: Geomorfologia, Geologia, Erodibilidade, Cobertura Vegetal, Distância dos Recursos Hídricos e Declividade são fatores, enquanto o limite da APA Corumbataí foi considerado uma restrição.

Para que estes fatores possam-se tornar comparáveis foi necessário reduzi-los a uma mesma escala de valores. Dessa forma, os fatores qualitativos foram ponderados e padronizados para uma escala contínua de vulnerabilidade que oscila entre 1 (menos vulnerável) e 10 (mais vulnerável), segundo os intervalos apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - 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 etapa seguinte consiste em ponderar a influência de cada fator no processo de avaliação da Vulnerabilidade Ambiental. Segundo Eastman (1997) é possível atribuir a cada

um deles um peso, que indica a sua importância no processo de agregação dos dados. 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, que por meio de uma matriz de comparações entre fatores são obtidos os pesos. 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).

A última etapa consiste na agregação dos fatores, e para tal fim foi utilizado o método da Combinação Linear Ponderada *Multi-Criteria Evaluation* (EASTMAN et al. 1993), resultando no mapa de Vulnerabilidade Ambiental da APA Corumbataí.

Nesse tipo de método da Avaliação Multicritério, a aptidão de um *pixel* (R_i) está definida pelo somatório de todas as aptidões parciais que cada fator toma nesse ponto do território. Ao mesmo tempo, cada aptidão parcial será definida pelo valor que toma cada fator nesse *pixel*, multiplicado pelo peso atribuído a cada fator.

A fórmula que representa o método aplicado é a seguinte:

$$R_i = \sum_{j=1}^n W_j X_{ij} \quad \text{onde:}$$

R_i : Aptidão do *pixel* i para a atividade avaliada

W_j : Peso do critério j

X_{ij} : Valor da alternativa no *pixel* i para o critério j

Esse método apresenta como característica o poder de compensação dos fatores, de tal forma que embora a aptidão parcial de um *pixel* apresente valores muito baixos para um fator, a aptidão global pode ser compensada pelos outros fatores para os que esse mesmo *pixel* apresente valores muito altos.

Desta forma, a Combinação Linear Ponderada é a ferramenta através da qual são combinados os diferentes mapas temáticos representando critérios, para gerar um mapa indicativo da adequação da superfície de estudo para determinado uso; neste trabalho foi utilizado para gerar um mapa de Vulnerabilidade Ambiental da APA Corumbataí.

No *software* SPRING foram executadas as operações de Combinação Linear Ponderada (por meio do interpolador média ponderada) entre os planos de informação (PI), relativos aos fatores pertencentes à matriz (campos temáticos), obtendo-se como resultado campos numéricos numa grade regular, onde cada ponto representa o valor de vulnerabilidade em um determinado espaço, e uma imagem com variação de níveis de cinza (NC), segundo os

valores da grade. Ao mapa numérico de Vulnerabilidade Ambiental finalmente foi aplicada a operação de fatiamento, dando como resultado o mapa temático dividido em cinco intervalos de Vulnerabilidade Ambiental: Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta.

O *software* SPRING foi utilizado na totalidade dos procedimentos de álgebra de mapas, enquanto no *software* ArcGIS foi produzido o Modelo Digital de Elevação Terreno (MDET) e que, por possuir melhores recursos gráficos, também foi utilizado no layout de todos os mapas apresentados.

A escala de trabalho adotada para análise foi de 1:100.000. Essa escala é compatível com a maioria dos dados preexistentes, porém, como citado anteriormente, foi preciso readequar alguns mapas temáticos que se encontravam em escala menor.

A Ilha do Cerrito é uma ilha fluvial situada na Represa de Barra Bonita, no rio Tietê, pertencente ao município de São Manuel e situada na parte sudoeste da APA Corumbataí, mas neste trabalho não foi considerada, devido à inexistência de informação nos mapas preexistentes e pela área ser pouco representativa no todo da APA.

O seguinte passo foi o recorte do mapa de Vulnerabilidade Ambiental, utilizando como máscara o limite da APA, obtendo assim um mapa com distribuição contínua da Vulnerabilidade Ambiental, classificação nas classes de Vulnerabilidade Ambiental mencionadas anteriormente.

Na Figura 10, visualiza-se o fluxograma com o procedimento técnico aplicado neste trabalho.

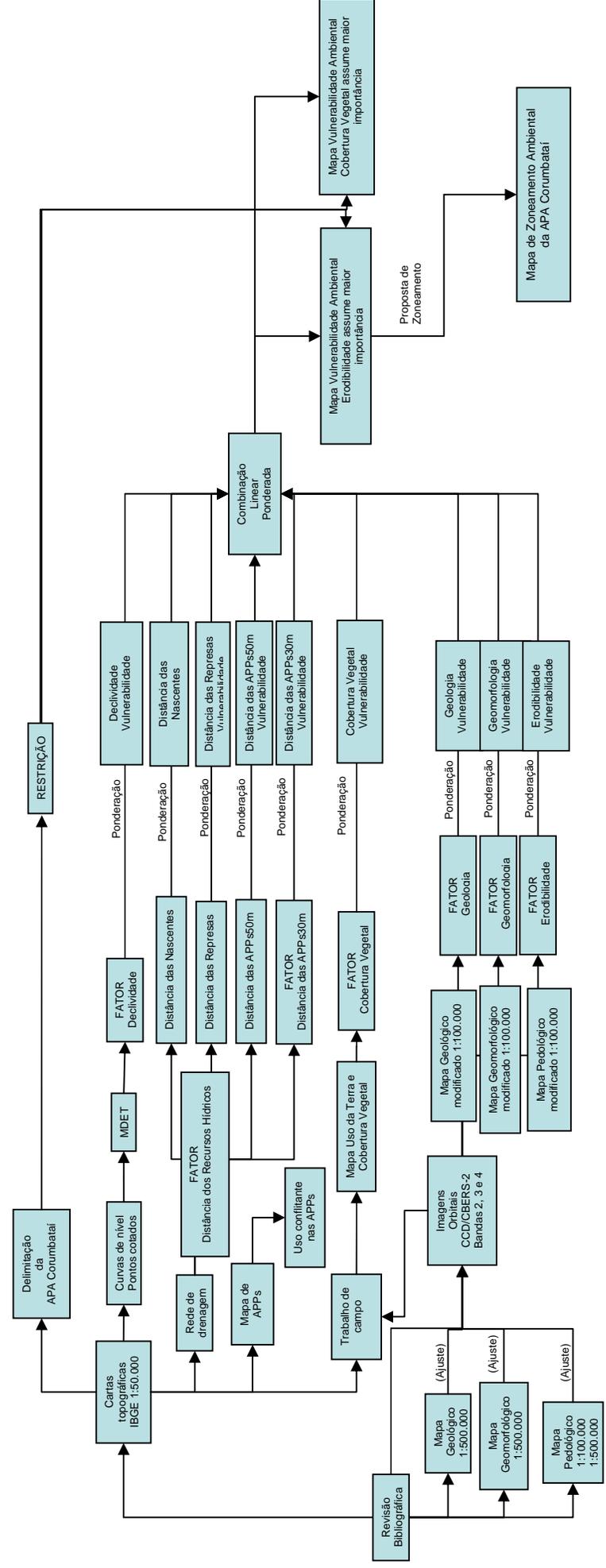


Figura 10 – Fluxograma com o procedimento técnico aplicado para a realização do presente trabalho.

A seguir, será descrito o procedimento de ponderação de valores às classes dos fatores utilizados no presente trabalho, como Distância dos Recursos Hídricos, Declividade, Erodibilidade, Geologia, Geomorfologia e Cobertura Vegetal.

Fator Distância dos Recursos Hídricos

As APPs, localizadas ao redor das nascentes e cursos d'água, descritas no Artigo 2º do Código Florestal são, na maioria das vezes, locais de ocorrência de matas ciliares. Este ecossistema é intensamente utilizado e degradado pelo homem, por se localizarem, na maioria das vezes, em locais planos, férteis e úmidos, o que os faz ideais para agricultura.

Nas regiões íngremes, ou seja, de topografia acidentada, as florestas formadas nos topos de morro reduzem as enxurradas que se formam nas cabeceiras dos rios, atenuando a erosão dos terrenos localizados mais abaixo e proporcionando, ao mesmo tempo, uma maior infiltração, regulando as fontes de água (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). As áreas de encostas, com declividade superior a 45° são consideradas, também, como de preservação permanente.

O Código Florestal Brasileiro instituído pela Lei Federal n 4.771 de 1.965 e atualizado pela lei n 7.803 de 1.988 para atender as novas regras impostas pela Constituição Federal de 1.988 atende de forma jurídica a proteção das florestas, estabelecendo parâmetros para sua proteção, preservação, impondo sanções e definindo regras para sua exploração econômica. Dividido em vários artigos, o Art 2º refere-se à proteção das águas e proteção dos solos, ou seja, florestas consideradas de preservação permanente, como um bem de interesse comum do povo, que devem ser mantidas como perenes, não removidas ou utilizadas, salvo exceções legais. Essas áreas, chamadas de APP foram criadas para proteger o ambiente natural, estando totalmente proibida a alteração de uso da terra, devendo ser conservadas com a vegetação original, já que estarão contribuindo para atenuar os efeitos erosivos e a lixiviação dos solos, como também para a regularização do fluxo hídrico, redução do assoreamento dos cursos d'água e reservatórios, trazendo junto com isto benefícios para a fauna.

As resoluções CONAMA nº302/02 e nº303/02 dispõem sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente e sobre Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno, respectivamente.

Atendendo ao Artigo 2º da Lei Federal Nº 4.771/65 do Código Florestal Brasileiro e às Resoluções CONAMA Nº 302/02 e Nº 303/02 é que foi gerado o mapa das APPs.

Para a obtenção do mapa de APPs trabalhou-se inicialmente com o mapa da rede de drenagem da área de estudo (Figura 11), que é um plano de informação no Banco de Dados Geográfico. Este mapa foi subdividido em quatro PIs, sendo:

- mapa de nascentes: foram criados pontos no programa AUTOCAD no início de cada rio, considerando-os como nascentes.

- mapa de Represas100m: criou-se um PI contendo unicamente os reservatórios artificiais de superfície maior ou igual a 20ha, formadas pela Represa do Lobo (Broa) e Represa de Barra Bonita (encontrando-se na APA apenas a margem superior da mesma).

- mapa de APPs50m: criou-se um PI contendo unicamente o reservatório artificial com área menor ou igual a 20ha: Represa do Rio Jacaré-Pepira e os cursos de água representados nas cartas topográficas por margem dupla (ou seja, rios de largura entre 10 e 30m).

- mapa de APPs30m: criou-se um PI contendo o restante da hidrografia, ou seja, os cursos de água representados nas cartas topográficas por linhas simples (ou seja, rios de largura menor ou igual a 10m).

As APPs de nascentes, represas e rios foram obtidas mediante a geração de mapas de distâncias ou *buffers*. Para isso foi utilizado o módulo Mapa de Distância do SPRING, gerando inicialmente uma grade retangular com valores de distância (modelo numérico) dos cursos d'água e represas (vetores tipo linha) e nascentes (vetores tipo ponto). Após isso, os PIs numéricos foram fatiados para a criação das APPs protegidas por lei, segundo mostra o Quadro 3, resultando em um PI temático em formato vetorial. Esse procedimento visualiza-se na Figura 12.

A APP correspondente à mata de encosta foi obtida a partir do mapa de declividade, segundo os seguintes procedimentos: geração de uma grade triangular de altimetria a partir das curvas de nível e pontos cotados, geração da grade retangular de altimetria, geração da grade de declividade e fatiamento da grade em dois intervalos: (1) de 0 a 45% e (2) maior ou igual a 45%.

Realizou-se também uma quantificação das áreas de uso conflitivo de terras nas APPs. Para isso, foram cruzados os mapas: APPs e Uso da Terra e Cobertura Vegetal. Para tal fim empregou-se a função Tabulação Cruzada do SPRING (sendo necessária a prévia transformação dos arquivos vetoriais em matriciais), que permite calcular áreas de intersecção entre classes de dois PIs. As informações obtidas foram exportadas para o *software* Excel, tabuladas e representadas através de gráficos.

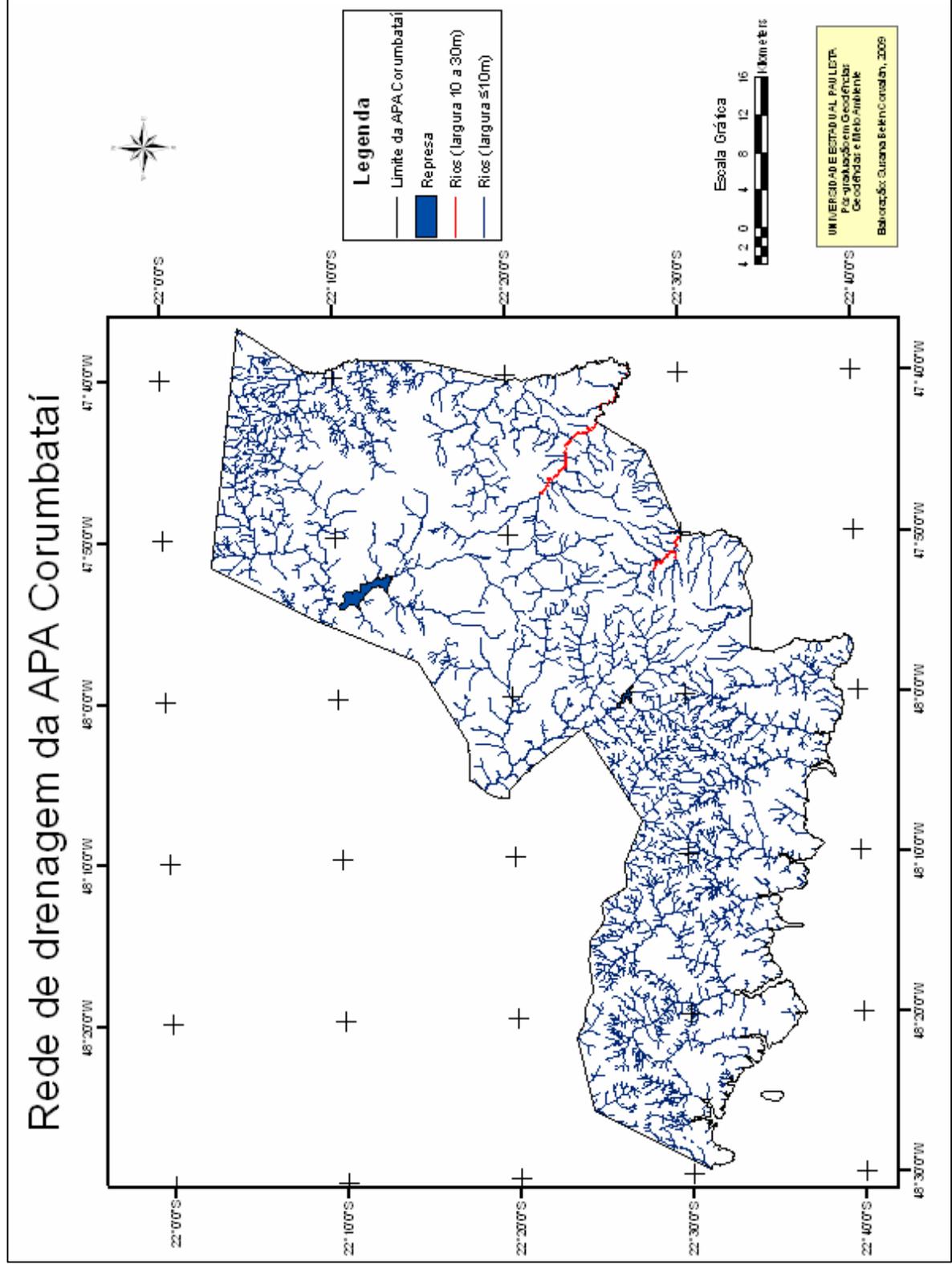


Figura 11 - Rede de drenagem da APA Corumbataí.

Quadro 3 - Dimensões da faixa de mata ciliar estabelecida pelas legislações acima citadas, criadas a partir da função *buffer* do programa SPRING.

Feição	Faixa de Mata Ciliar (Função <i>buffer</i>)
Cursos de água representados por margem dupla ($10 \leq \text{largura} \leq 30\text{m}$) Ribeirão Araçuaia Rio Passa Cinco	50m em cada margem
Cursos de água representados por linhas simples ($\text{largura} \leq 10\text{m}$)	30m em cada margem
Reservatórios artificiais em áreas rurais com superfície \geq a 20ha Represa Barra Bonita, Área = 31.000ha Represa do Lobo (Broa), Área = 460 ha	100m ao redor do reservatório
Reservatórios artificiais em áreas rurais com superfície $<$ a 20ha Represa do Rio Jacaré-Pepira (Patrimônio), Área = 14.5ha	50m ao redor do reservatório
Nascentes	50m de raio
Encostas	Declividade superior a 45°

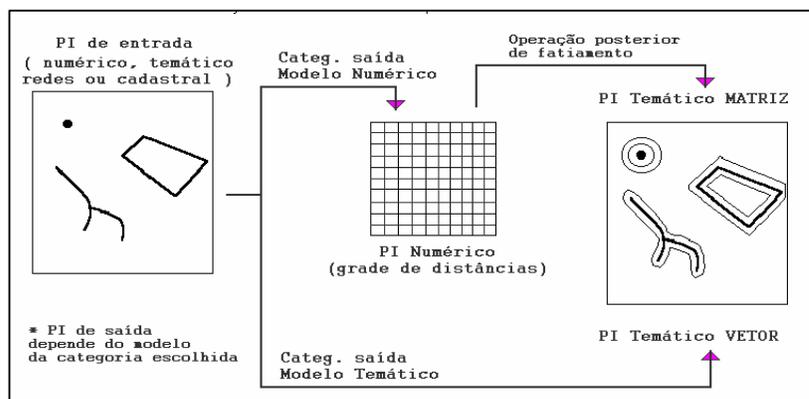


Figura 12 – Representação esquemática do procedimento para obtenção do *buffer* das APPs.
Fonte: SPRING (2009).

O uso antrópico, como agricultura, pecuária, atividades industriais, portuárias e turismo impactam os recursos naturais mais vulneráveis, como os recursos hídricos (rios, lagos, lagoas, reservatórios, represas).

O uso da terra para a agropecuária e loteamentos vem contribuindo para a redução de vegetação ciliar (considerada pelo Código Florestal Federal como APP) fazendo com que a água da chuva escoe sobre a superfície, impedindo sua infiltração e armazenamento no lençol

freático. Com isso, reduzem-se as nascentes, córregos, rios e riachos. A erosão das margens leva sedimentos para a calha dos rios, assoreando-os e dificultando a entrada de luz solar, provoca também o aparecimento de pragas e doenças na lavoura e/ou outros prejuízos econômicos nas propriedades rurais e impossibilita que tanto a flora como a fauna possa se reproduzir, garantir e se deslocar, diminuindo a biodiversidade da região.

Durigan & Silveira (1999), ressaltam a importância da existência de mata ciliar ao longo de rios e ao redor de lagos e reservatórios, fundamentando-se no viés de benefícios que este tipo de vegetação traz ao ecossistema, exercendo função protetora sobre os recursos naturais bióticos e/ou abióticos. A proximidade dos mesmos, é portanto, um fator de Vulnerabilidade Ambiental, justificando as faixas de preservação especificadas em vários dispositivos legais de proteção ambiental.

O fator Distância dos Recursos Hídricos foi subdividido em quatro mapas diferentes, elaborados com base no mapa rede de drenagem. Esses mapas são: Distância das Nascentes, Distância das Represas, Distância das APPs50m e Distância das APPs30m. Logo, cada mapa foi fatiado em cinco intervalos, cada um representando uma classe: Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito Baixa Vulnerabilidade, sendo que quanto mais próximo do corpo de água, maior é a vulnerabilidade.

Para a elaboração do mapa Distância das Nascentes foi gerada no SPRING uma grade regular de distância das nascentes, a partir de pontos representativos das nascentes, usando o interpolador vizinho mais próximo, com *pixel* de 20m. Após isso realizou-se um fatiamento da grade regular associando as fatias às classes de vulnerabilidade: Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito Baixa.

Para a elaboração dos mapas Distância das Represas, Distância das APPs50m e Distância das APPs30m foi criada uma grade regular de distância, a partir de linhas, usando o interpolador vizinho mais próximo, com *pixel* de 20m. Após isso, realizou-se o fatiamento da grade regular associando as fatias às classes de vulnerabilidade: Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito Baixa.

Cabe ressaltar que, para os quatro mapas, os valores mínimos dos intervalos (correspondentes à classe Muito Alta Vulnerabilidade) correspondem aos valores de faixa mínima de mata ciliar, explicitada por lei, e os valores máximos dos intervalos (correspondentes à classe Muito Alta Vulnerabilidade) se correspondem com os valores de cota máxima, gerada anteriormente em cada grade retangular para cada um dos mapas.

Assim, para a construção dos intervalos de cada mapa de distâncias foi aplicado o seguinte critério: o primeiro intervalo corresponde às áreas de APPs (classe Muito Alta Vulnerabilidade), no segundo intervalo foram adicionados 150m (classe Alta Vulnerabilidade), no terceiro foram adicionados 100m (classe Média Vulnerabilidade), no quarto adicionou-se 50m (classe Baixa Vulnerabilidade), a partir deste valor até a cota máxima da grade corresponde a classe Muito Baixa Vulnerabilidade.

Por exemplo, para o Mapa de Distância das Nascentes, cuja lei determina que a APP deve ser um raio de 50m do local da nascente, adotou-se as seguintes classes: à área compreendida entre 0 a 50m de raio das nascentes atribuiu-se a classe Muito Alta Vulnerabilidade, à área compreendida entre 50 a 200m atribuiu-se a classe Alta Vulnerabilidade, à área compreendida entre 200 a 300m atribuiu-se Média Vulnerabilidade, à área compreendida entre 300 a 350m atribuiu-se Baixa Vulnerabilidade e a partir de 350m de distância das nascentes atribuiu-se a classe Muito Baixa Vulnerabilidade (Tabela 3).

Tabela 3 - Hierarquia de Vulnerabilidade para o fator Distância aos Recursos Hídricos

Planos de Informação	CLASSE DE VULNERABILIDADE				
	Muito alta	Alta	Média	Baixa	Muito Baixa
Distância das Nascentes	(0 - 50)	(50 - 200)	(200 - 300)	(300 - 350)	(350 - 48.583,08)
Distância das Represas	(0 - 100)	(100 - 250)	(250 - 350)	(350 - 400)	(400 - 58.627,51)
Distância das APPs50m	(0 - 50)	(50 - 200)	(200 - 300)	(300 - 350)	(350 - 69.948,72)
Distância das APPs30m	(0 - 30)	(30 - 180)	(180 - 280)	(280 - 330)	(330 - 42.035,78)

Fator Declividade

O grau de declividade do terreno exerce influência direta no processo erosivo de perda de solo por erosão, pois, quanto maior seu gradiente, maior a intensidade de escoamento das águas sob o efeito da gravidade, sendo, portanto, menor o seu tempo disponível para a infiltração no solo. Nesse contexto, a declividade é essencial para uma avaliação de risco a erosão.

Assim, pode-se estabelecer que, para esse fator, quanto maior a declividade da área, maior a Vulnerabilidade. Para a elaboração do mapa de Declividade foram realizados os seguintes procedimentos:

- 1- Geração de uma grade triangular de altimetria a partir das curvas de nível e pontos cotados.

- 2- Geração de uma grade regular de altimetria a partir da grade triangular.
- 3- Geração da grade de declividade a partir da grade regular de altimetria.
- 4- Geração do mapa de classes de declividade obtido pelo fatiamento da grade de declividade em cinco intervalos, onde cada um deles foi associado a uma classe de vulnerabilidade (muito alta, alta, média, baixa, muito baixa).

Os intervalos de declividade assumidos no presente trabalho podem ser observados na Tabela 4, assim como seus respectivos valores ponderados representando os diferentes graus de vulnerabilidade.

Tabela 4 - Intervalos de declividade, grau e classes de Vulnerabilidade.

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

Fator Erodibilidade do Solo

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990), a erosão é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo, causado pela água e pelo vento. Segundo estes autores, a chuva é um dos fatores de maior importância para a erosão, sendo que sua intensidade, sua duração e a sua frequência são as propriedades mais importantes para o processo erosivos.

Segundo Lal (1988), apud Vitte & Pareira Mello (2007) a erodibilidade é o efeito integrado de processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo para desagregação de partículas e o transporte subsequente; processos que são influenciados pelas propriedades do solo, assim como a distribuição do tamanho das suas partículas, estabilidade estrutural, conteúdo de matéria orgânica, natureza dos minerais de argila e constituintes químicos.

Já Wischmeier & Mannering (1969), relatam que a erodibilidade é uma propriedade inerente ao solo e é importante na previsão das perdas de solo por erosão. Trata-se de uma propriedade complexa, que depende da combinação de fatores individuais de cada solo,

sobretudo daqueles que determinam a velocidade de infiltração de água no perfil, e aqueles que determinam a resistência a dispersão e ao arraste de partículas durante a chuva e o escoamento superficial.

São as propriedades do solo que influenciam a erodibilidade aquelas que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água, e aquelas que resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento.

Toy & Hadley (1987) relatam que a erosão dos solos é um processo “normal” no desenvolvimento da paisagem. No obstante, a erosão acelerada dos solos é aquela que ocorre em intensidade superior à erosão normal e é usualmente, consequência dos resultados das atividades humanas sob determinadas condições de clima, vegetação, solo e relevo. Assim, quando o processo erosivo é mais veloz que a formação do solo ocorre uma erosão acelerada, chamada de erosão antrópica. São diversas as situações que a desencadeiam, sobretudo quando se dá a substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura vegetal, o qual já não proporciona proteção eficiente contra a erosão, dificultando o estabelecimento do processo pedogenético.

Segundo Bertoni & Lombardi Neto (1990) as características do solo podem levá-lo a ser mais erodível que outro, mesmo quando se tem fatores similares (condições climáticas, intensidade de chuva, declividade, práticas de manejo e taxa de cobertura vegetal) que influenciam na taxa de erosão.

Os solos mais erodíveis e localizados em maiores declividades são mais suscetíveis à erosão, pelo que é dada maior atenção, pois segundo Ross et al. (2000) são uma ameaça a conservação e, sobretudo, a preservação florestal. Assim, estes solos descobertos ou com cobertura inadequada podem ser causadores de deslizamentos, produzindo sedimentos que juntos com outros danos, podem afetar áreas de floresta nativa que já alcançaram a estabilidade de sua estrutura interna ou outras que estão caminhando nesse sentido.

O Estado de São Paulo é o segundo estado brasileiro na ordem de porcentagem de ocupação do solo por uso agrícola (IBGE, 2002), além de carregar um histórico e intenso uso com diversos ciclos de culturas em épocas passadas, o que o torna amplamente agrícola. E a pressão por prover ao país para seu consumo interno está ocasionando uma super-utilização e o uso incorreto do solo em grande parte do estado, sobretudo em áreas cultivadas com culturas anuais, já que passam determinada época do ano com o solo exposto. Coincidindo com as chuvas mais intensas, devido à ausência de cobertura vegetal, os danos ocasionados

pela erosão são maiores (GOLDMAN et al, LEPSCH e SILVA, apud SILVA & ÁLVARES, 2005). Valério Filho (1994) afirma que essa crescente demanda da produção agrícola tem acelerado intensamente os processos de erosão dos solos, resultando na alteração da qualidade da água e assoreamento de rios e reservatórios, sendo a principal causa do depauperamento acelerado das terras (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990).

Cada classe de solo foi ponderada segundo sua vulnerabilidade à erosão, resultando no mapa de Erodibilidade, de acordo com valores de erodibilidade obtidos da revisão bibliográfica de trabalhos de Bertoni & Lombardi Neto (1990), Mannigel et al. (2002), Silva & Álvares (2005), Moretti (2001), Lombardi Neto & Bertoni (1975) e Bueno (1994).

Esses autores trabalharam a erodibilidade segundo métodos diretos, ou seja, baseados na relação entre as perdas de solo e o fator erosividade das chuvas, e segundo métodos indiretos, o qual é estimado mediante a utilização de equações matemáticas elaboradas. Na ocorrência de associações de solos, o solo predominante é o determinante para a atribuição do grau de erodibilidade (vulnerabilidade).

No caso de solos pertencentes à mesma classe, foi avaliada a textura para a determinação do peso final.

A classe Neossolo Quartzarênico é formado de materiais sumamente arenosos, sendo o quartzo o mineral dominante na fração areia (Resende et al., 2005), o que lhes confere alta vulnerabilidade à erosão, recebendo valor igual a 8. São solos excessivamente drenados, por isso sua maior ocorrência em locais planos a suave ondulados. Analogamente, para todas as outras classes de solos foram atribuídas valores de vulnerabilidade, os quais podem-se observar na Tabela 5.

Tabela 5 - Classes de solos presentes na área, grau e classe de Vulnerabilidade.

Classe de Solos	Área (Km ²)	Grau	Classe de Vulnerabilidade
Gleissolo	32,69	8	Alta
Organossolo	22,57	8	
Neossolo Quartzarênico	511,79	8	
Neossolo Litólico			
RL ₁ textura média	15,80	8	
RL ₂ textura argilosa	295,35	7	
RL ₃ textura indiscriminada	3,72	7,5	
Argissolo Vermelho-Amarelo			
PVA ₁ textura arenosa/média	362,62	8	
PVA ₂ textura arenosa/média ou media/ argilosa	46,17	7,8	
PVA ₃ textura média/argilosa ou arenosa/media	184,65	7,2	
PVA ₄ textura média ou arenosa/media	23,32	7,6	
PVA ₅ textura média ou media/argilosa	38,35	7,4	
PVA ₆ textura media/argilosa fase pedregosa	11,44	7,1	
PVA ₇ textura argilosa ou media/argilosa	22,07	7	
Nitossolo Vermelho			Média
NV textura argilosa ou muito argilosa	26,32	6	
Latossolo Vermelho			
LV textura média	47,34	6	
LV textura argilosa	31,95	5,5	
LV distrófico textura argilosa a muito argilosa	65,21	5	
LV eutrófico textura argilosa a muito argilosa	6,83	5	
Latossolo Vermelho-Amarelo	872,69	5,6	
LVA ₁ textura média	41,68	5,8	
LVA ₂ textura argilosa ou media	47,06	6	
LVA ₃ textura muito argilosa ou argilosa			

Fator 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. A coesão das rochas depende do processo de formação (ígnea, metamórficas, sedimentares), que está intimamente relacionado à composição química.

A ponderação das unidades geológicas foi realizada a partir da análise litológica e de sua suscetibilidade/vulnerabilidade, segundo Crepani et al. (1996) (Tabela 6).

A base onde ocorre a Formação Serra Geral está constituída por magmatitos básicos (basaltos e diabásios), 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 forma escarpas e encostas declivosas, características dessas superfícies. Os depósitos aluvionares quaternários são depósitos de areias, associados às calhas fluviais e apresentam um material inconsolidado, favorecendo os processos erosivos.

Pelo exposto acima, as unidades geológicas da área de estudo estão representadas em ordem crescente de vulnerabilidade pelas Magmáticas (Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas), Arenitos (Formação Pirambóia e Botucatu), Siltitos (Formação Itaquerí e Corumbataí-folhelhos) e Coberturas Cenozóicas (Formação Rio Claro e Sedimentos Aluvionais Inconsolidados).

A Formação Serra Geral e Intrusivas Básicas, que afloram na região da Serra de Itaquerí, na faixa superior de *cuestas* e nos morros testemunhos, isolados pela erosão, apresenta Baixa Vulnerabilidade, e receberam como peso valor igual a 2 (dois).

A formação Pirambóia representada pelos arenitos e a formação Botucatu (nos frontes escarpados), representada pelos arenitos e basaltos, receberam pesos de 6 e 5, respectivamente, enquadrados na classe média vulnerabilidade.

Os arenitos da formação Itaquerí (no reverso das *cuestas* basálticas) e Corumbataí otorgam-lhes Alta Vulnerabilidade, recebendo peso igual a 8.

As unidades geológicas Sedimentos Aluvionais e Formação Rio Claro estão formadas por sedimentos inconsolidados, facilitando o processo erosivo, uma vez que este material pode ser facilmente transportado. Estas unidades apresentam Muito Alta Vulnerabilidade e receberam os pesos 10 (dez) e 9 (nove), respectivamente.

A hierarquização do fator Geologia é apresentada na Tabela 7.

Tabela 6 – Valores de Vulnerabilidade/Estabilidade de Diferentes Litologias. Fonte: Crepani et al. (1996).

(i)	LITOLOGIA	VALOR DE ESTABILIDADE/ VULNERABILIDADE
(ii)	Quartzitos ou metaquartzitos	1
(iii)	Riólito, Granito, Dacito	1,1
	Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2
	Migmatitos, Gnaisses	1,3
	Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4
	Andesito, Diorito, Basalto	1,5
	Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6
	Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7
	Piroxenito, Anfíbolito Kimberlito, Dunito	1,8
	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9
	Estauroлита xisto, Xistos granatíferos	2
	Filito, Metassiltito	2,1
	Ardósia, Metargilito	2,2
	Mármore	2,3
	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
	Conglomerados, Subgrauvacas	2,4
	Grauvacas, Arcózios	2,6
	Siltitos, Argilitos	2,7
	Folhelhos	2,8
	Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
	Sedimentos Inconsolidados, Aluviões, Colúvios etc	3

Tabela 7 - Hierarquização do fator Geologia segundo a sua vulnerabilidade.

Unidades Geológicas	Grau	Classe de Vulnerabilidade
Sedimentos Aluvionais Quaternarios	10	Muito Alta
Formação Rio Claro	9	
Formação Corumbataí	8	Alta
Formação Itaquerí	8	
Formação Pirambóia	6	Média
Formação Botucatu	5	
Formação Serra Geral	3	Baixa

Fator Geomorfologia

Foram analisados os processos erosivos atuantes 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, os tipos de drenagens, 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 (Tabela 8), segundo as características do Quadro 2, apresentado no item 3.2.2.

A classe Escarpas Festonadas, por apresentar as declividades mais altas na região (acima de 30%), drenagem de alta densidade e vales fechados foi ponderada com valor igual a 10, ou seja, com Muito Alta Vulnerabilidade. Já a classe Encostas com Cânion Locais recebeu o valor 9, classificada também como Muito Alta Vulnerabilidade.

As classes Encostas Sulcadas por Vales Subparalelos e Morrotes Alongados e Espigões receberam os valores 8 e 7, respectivamente. A primeira por apresentar declividades médias e amplitudes maior que 100m e a segunda por apresentar amplitudes locais inferior a 100m.

As classes Morros Arredondados e Mesas Basálticas foram ponderados como de Média Vulnerabilidade, recebendo os valores 6 e 5, respectivamente, sendo que as segundas correspondem aos morros testemunhos apresentando trechos escarpados.

As classes representadas por Colinas Médias e Colinas Amplas foram ponderadas como de Baixa Vulnerabilidade, por estarem definidas por vales pouco profundos, apresentando vertentes de declividade suave (até 15% de declividade) e amplitudes locais inferiores a 100m, com os valores 4 e 3, respectivamente.

A classe Planícies Aluviais tem como característica ser terrenos muito baixos e sujeitos a inundações, pelo que foram ponderadas com valor igual a 2, sendo de Muito Baixa Vulnerabilidade.

Tabela 8 – Classes de unidades de relevo hierarquizadas segundo a vulnerabilidade.

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

Fator Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. O valor das florestas como regulador das nascentes e controle da erosão é bem conhecido. Assim, a copa das árvores e arbustos em diferentes alturas protegem 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 (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990). A cobertura de floresta ou pastagem retarda a enxurrada, diminui as enchentes, eleva o nível do lençol freático e reduz a erosão. Por tudo isto é que a Cobertura Vegetal foi considerada um fator.

Assim, as diferentes classes do mapa Uso da Terra e Cobertura Vegetal foram classificadas de acordo ao grau de proteção que eles conferem ao solo, assumindo que os solos com cobertura vegetal original oferecem proteção máxima contra o impacto das gotas de água de chuva, em contraposição, as áreas de solo exposto são muito vulneráveis devido à ausência total de proteção.

Dessa forma, apresentam Muito Baixa Vulnerabilidade as áreas identificadas com alta biodiversidade, onde a cobertura vegetal está representada pela mata nativa, ocorrendo áreas de Floresta Estacional Semidecidual, localizada nas encostas das serras e formações típicas de áreas restritas ao longo de cursos de água (mata ciliar). A vegetação arbórea apresenta copas

bem desenvolvidas, facilitando a interseção das gotas de água que, associada ao estrato arbustivo-herbáceo denso, propiciam uma maior proteção ao terreno.

O Cerrado (formação arbustiva natural, podendo variar em densidade) e o reflorestamento, (plantação homogênea de eucaliptos ou pino), apresentam valores de Baixa Vulnerabilidade.

A pastagem recebeu valores de Média Vulnerabilidade, pela sua parcial proteção ao solo, dado pela rala vegetação e ao mesmo tempo pelo pisoteio dos animais, o qual diminui ainda mais essa proteção.

A cultura anual, cultura perene e a cultura de cana de açúcar receberam valores de Alta Vulnerabilidade, já que essas coberturas expõem de forma significativa o solo à ação erosiva das chuvas, como nas entrelinhas do pomar das plantações de laranja e o espaçamento entre sulcos dos canaviais.

A classe solo exposto recebeu valor de Muito Alta Vulnerabilidade, pela nula proteção contra a ação erosiva das chuvas.

Na Tabela 9, 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 9 - 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
Mineração	9		Nula
Culturas 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

Mapa de Vulnerabilidade Ambiental

Para obtenção do Mapa de Vulnerabilidade Ambiental da APA foi realizado uma Combinação Linear Ponderada, usando a programação em linguagem LEGAL em ambiente SIG utilizando o *software* SPRING, dos fatores Distância dos Recursos Hídricos, Geologia, Geomorfologia, Erodibilidade dos Solos, Declividade e Cobertura Vegetal

Os algoritmos desenvolvidos na linguagem de programação LEGAL podem ser observados nos Anexos 2 e 3 deste trabalho. O resultado da aplicação da Combinação Linear Ponderada é um PI numérico, com *pixel* de 20m, na escala 1:40.000.

Este método proporciona a integração das vulnerabilidades de cada um dos fatores envolvidos, e que de acordo ao peso que foi dado a cada um, obtêm uma média ponderada da Vulnerabilidade Ambiental.

O Mapa de Vulnerabilidade é obtido pelo fatiamento da grade, gerada no processo de Combinação Linear Ponderada, resultando em um mapa temático com cinco classes de Vulnerabilidade Ambiental (muito alta, alta, média, baixa e muito baixa).

Foram testados diferentes padrões de pesos para ponderação e integração dos fatores gerando dois modelos diferentes, um onde o fator Cobertura Vegetal é o mais importante e outro onde o fator Erodibilidade assume maior importância. Os pesos outorgados foram 0,30 e 0,24 respectivamente.

Como resultado da aplicação da Combinação Linear Ponderada obteve-se para cada modelo, uma imagem em níveis de cinza e uma grade retangular, a qual foi fatiada para a geração das cinco classes de vulnerabilidade. Baseado nos valores mínimos e máximos obtidos da construção da grade retangular é que foram estabelecidos os cinco intervalos de vulnerabilidade: Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito Baixa.

4.8. Avaliação

Nesta fase foram analisados os resultados dos trabalhos realizados até o momento de forma geral, verificando a consistência e a dispersão dos resultados obtidos nas visitas técnicas de campo, dos produtos obtidos em escritório e dos dados disponíveis. Além disso, verificou-se a adequação dos resultados de campo ao mapeamento do uso e cobertura da terra.

Considera-se ideal não haver mais nenhuma dúvida sobre os resultados obtidos e ter-se encontrado todas as correlações possíveis entre os mesmos. Deve-se elaborar em *check list* das etapas, verificando a adequação de cada uma para o objetivo proposto, desde o início do trabalho até o final.

Os questionamentos devem ser quanto à adequação e sistematização dos resultados obtidos para os objetivos do estudo. Os procedimentos foram repetidos até que não houvesse mais nada a acrescentar. Tendo-se avaliado criticamente todo o trabalho realizado até o momento, que culmina com a determinação da Vulnerabilidade Ambiental da APA Corumbataí, inicia-se a fase final da presente tese, o Zoneamento Ambiental da APA Corumbataí.

4.9. Zoneamento Ambiental da APA

O planejamento adequado do uso da terra se torna cada vez mais importante, como maneira de protegê-la contra a erosão, ao mesmo tempo que aumenta gradativamente a sua capacidade produtiva. A partir do mapa de Vulnerabilidade Ambiental, elaborado pela combinação dos fatores Declividade, Geologia, Geomorfologia, Erodibilidade, Distância dos Recursos Hídricos e Cobertura Vegetal, obteve-se o mapa de Zoneamento Ambiental da APA Corumbataí. Vale a pena mencionar que o Zoneamento baseou-se no mapa de Vulnerabilidade Ambiental obtido através da Combinação Linear Ponderada, para a qual o fator Erodibilidade assumiu maior importância, recebendo valor igual a 0,24. A justificativa da escolha baseada nesse mapa vem dada pelo fato Erodibilidade ser uma propriedade intrínseca dos solos e estática na escala de tempo da humanidade, quando comparada com a variável dinâmica de uso e cobertura vegetal.

Para o Zoneamento procurou-se, no mapa de Vulnerabilidade Ambiental, regiões onde predominasse determinada classe ou associação de classes de vulnerabilidade, e que visualmente pudessem ser unidas, conforme um padrão de imagem, e portanto agrupáveis para fins de mapeamento.

Foi assim que, para o caso da APA Corumbataí, definiram-se três zonas, as quais foram delimitadas quanto à restrição para implantação de diferentes usos e ocupação do solo na APA. Às classes foram denominadas de: Alta, Moderada e Baixa Restrição ao uso e ocupação do solo.

Para a classe Alta Restrição procurou-se delimitar polígonos onde predominam as classes de Muito Alta e Alta Vulnerabilidade Ambiental, eventualmente pequenas porções de outras classes poderiam ser englobadas, desde que em meio às duas de maior vulnerabilidade.

Para a classe de Moderada Restrição procurou-se delimitar polígonos onde predominam as classes: Alta e Média Vulnerabilidade Ambiental; eventualmente pequenas porções de Muito Alta, Baixa ou Muito Baixa vulnerabilidade poderiam ser englobadas, desde que em meio às classes Alta e Moderada Vulnerabilidade.

Para a classe Baixa Restrição procurou-se delimitar polígonos onde predominam as classes de Média, Baixa e Muito Baixa Vulnerabilidade, eventualmente pequenas porções das classes de maior vulnerabilidade poderiam ser englobadas, desde que em meio às três de menor vulnerabilidade.

5 - RESULTADOS E DISCUSSOES

A seguir são apresentados os resultados obtidos em cada uma das etapas descritas no item 4 – Materiais e Métodos, como o Modelo Numérico de Terreno (MDET), o Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal, os mapas dos fatores Distância dos Recursos Hídricos, Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Uso e Cobertura da Terra e Declividade, o Mapa de Vulnerabilidade Ambiental e o Mapa de Zoneamento Ambiental da APA Corumbataí, sendo que todas essas informações compõem um Banco de Dados Geográfico Georreferenciado, em ambiente digital.

5.1 MDET e Declividade

O MDET da APA Corumbataí foi obtido através da interpolação das cartas topográficas na escala 1:50.000 (curvas de nível de 20 m de equidistância) e, a partir deste, foram derivados os mapas hipsométricos mostrando as faixas de altitude e o de declividade.

O mapa hipsométrico foi obtido através de um fatiamento dos dados de altimetria, a partir do MDET, e para uma melhor visualização adotou-se intervalos de altitude pré-definidos a cada 100m. Na Figura 13, pode-se notar que as áreas mais elevadas (nas cores cinza e preto) correspondem às áreas de planalto (Serra de Itaquerí, Serra de São Pedro, Serra do Tabuleiro e Serra do Cuscuzeiro), como também dos morros testemunho (Morro da Guarita, Morro Bizigueli e Pedra do Cuscuzeiro).

A função declividade calcula a máxima razão (taxa) de mudança entre cada cédula e suas oito vizinhas. Os valores podem ser expressos tanto em graus quanto em valores

percentuais. Neste trabalho, adotaram-se valores percentuais, os quais foram divididos em nove classes de declividade.

Os menores valores naturalmente correspondem aos locais mais planos, enquanto os maiores às regiões mais íngremes do terreno (encostas das áreas serranas com alta declividade). Na Figura 14, pode-se observar nas cores marrom e preto as áreas de maior declividade e nas cores *cyan* e verde as áreas de menor declividade.

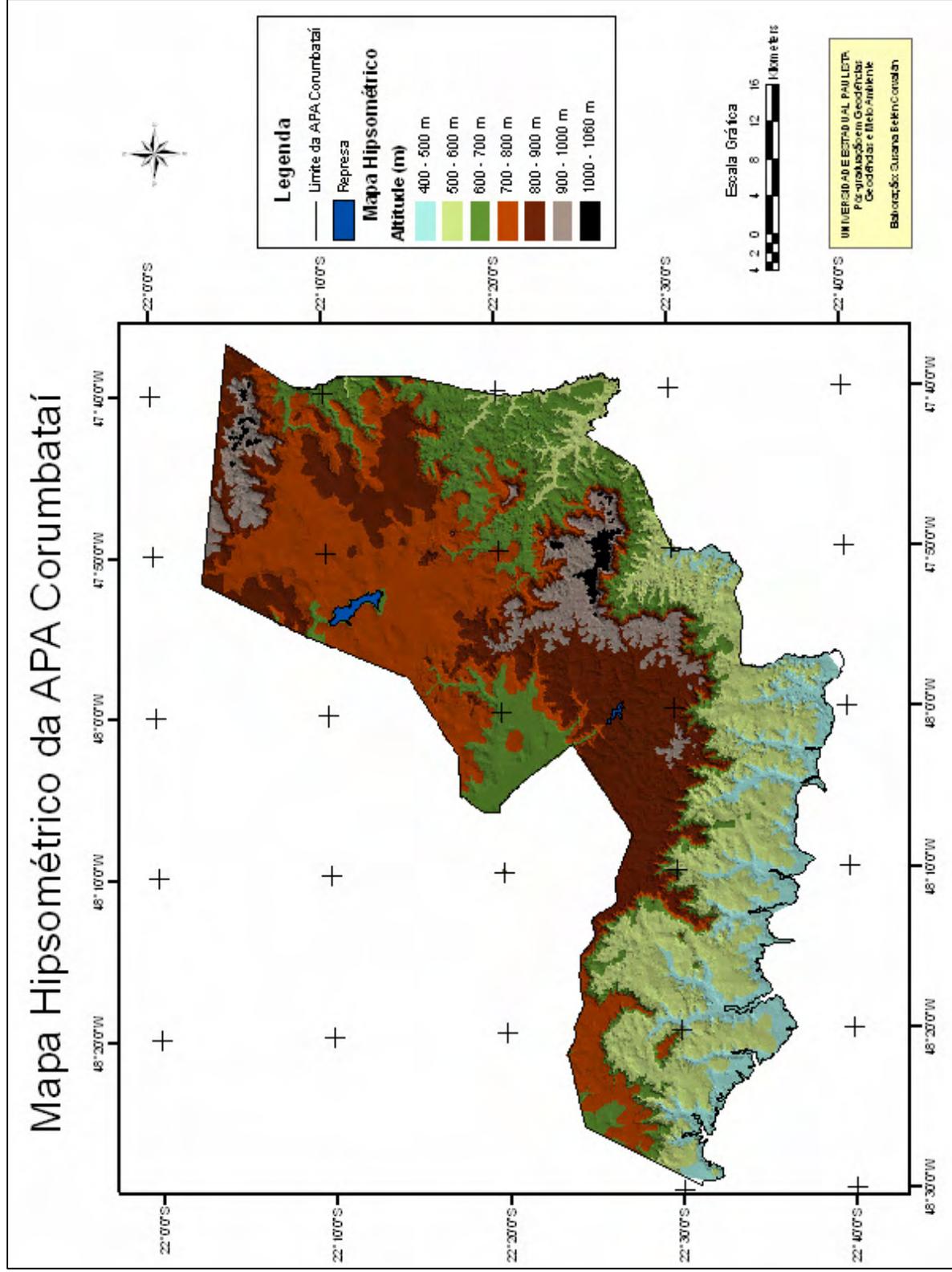


Figura 13 - Mapa Hipsométrico da APA Corumbataí, derivado do MDET e gerado no ArcGIS.

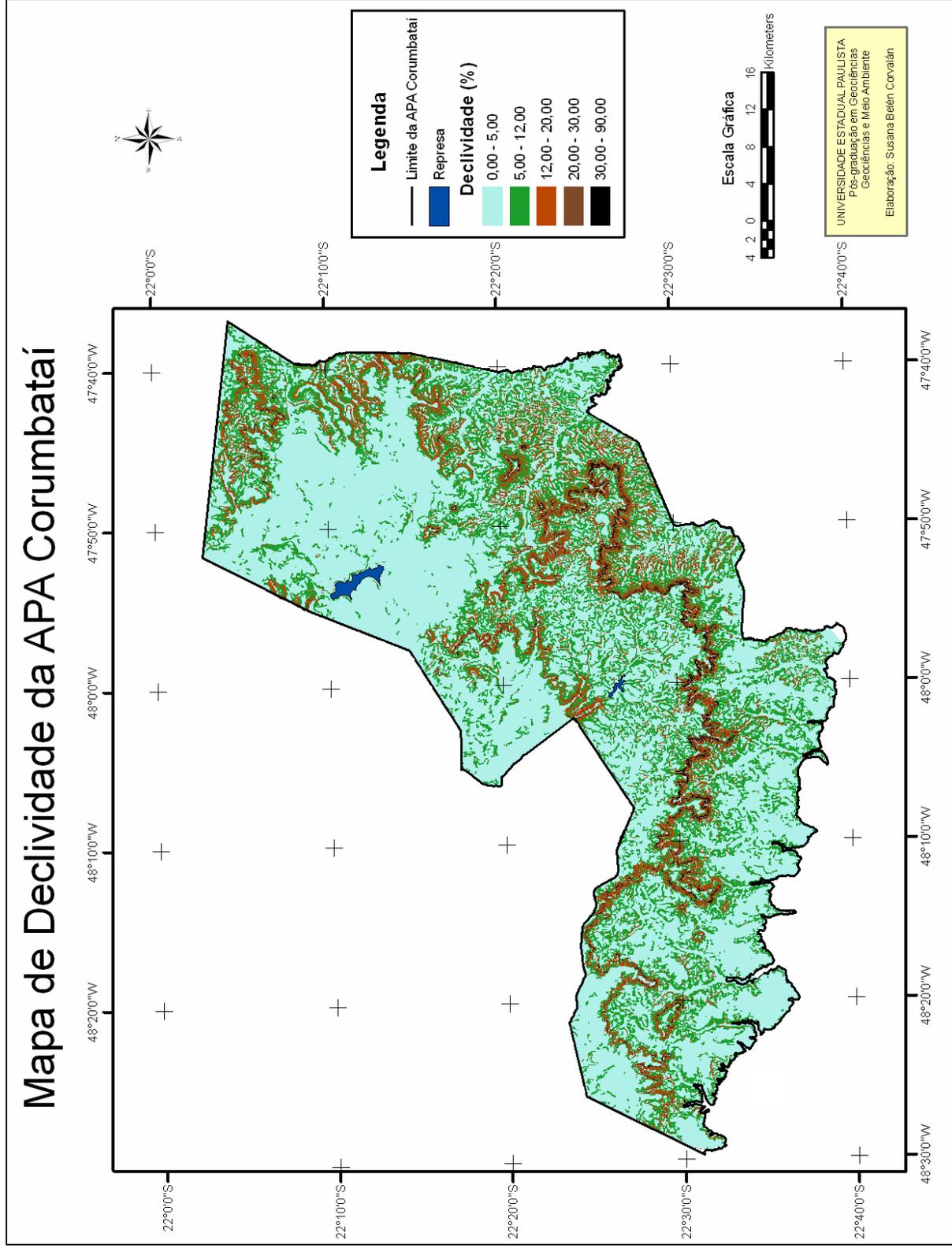


Figura 14 - Mapa de Declividade da APA Corumbataí, derivado do MDET e gerado no ArcGIS.

5.2 Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal

Com as imagens registradas e inseridas no Banco de Dados do SPRING foi realizada a interpretação visual com base nos padrões fotográficos, onde foram realizadas varias composições coloridas, criadas a partir das combinações das bandas 2, 3 e 4 do CCD/CBERS-2. Além da composição colorida 342-RGB apresentada na Figura 2, do item 3.1, foi utilizada também para identificação e discriminação dos alvos a composição colorida 432-RGB (Figura 15).

Após a repetida execução do procedimento computacional semi-automático, em ambiente SIG, alterando os diferentes parâmetros da rotina computacional, que consiste em seleção das bandas a serem classificadas, contraste e segmentação dessas bandas, extração das regiões de similaridade, classificação e mapeamento, constatou-se que certos padrões de uso e cobertura da Terra que são facilmente identificáveis nas imagens a olho nú, não foram delimitados corretamente.

Por exemplo, áreas sob irrigação de tipo “pivô central”, que são facilmente identificáveis por meio de fotointerpretação na tela do computador ou em imagens impressas, dada sua forma circular, textura lisa e alta reflectância no infra-vermelho próximo, não foram delimitadas pelo procedimento computacional semi-automático e, portanto, não fazem parte do Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal.

Na segmentação que se mostrou mais satisfatória no que se refere à classificação da vegetação natural (floresta estadual semidecidual e mata ciliar), utilizaram-se valores de similaridade e área mínima de pixel de 25 e 50 (respectivamente), com limiar de aceitação de 75%, diferenciando o total de 55 classes (denominados de temas no SPRING), e que, posteriormente, foram reagrupadas no processo de mapeamento em 10 classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal, porém, como mencionado acima, com erros na delimitação do padrão de uso inerentes ao método e aos materiais utilizados.

Outros exemplos desta situação é a geração de grandes polígonos que englobam áreas de cultura de cana de açúcar e pasto, além de áreas de reflorestamento não delimitadas e que acabaram sendo inseridas em outras categorias de uso.

Composição colorida da Imagens CCD/CBERS-2

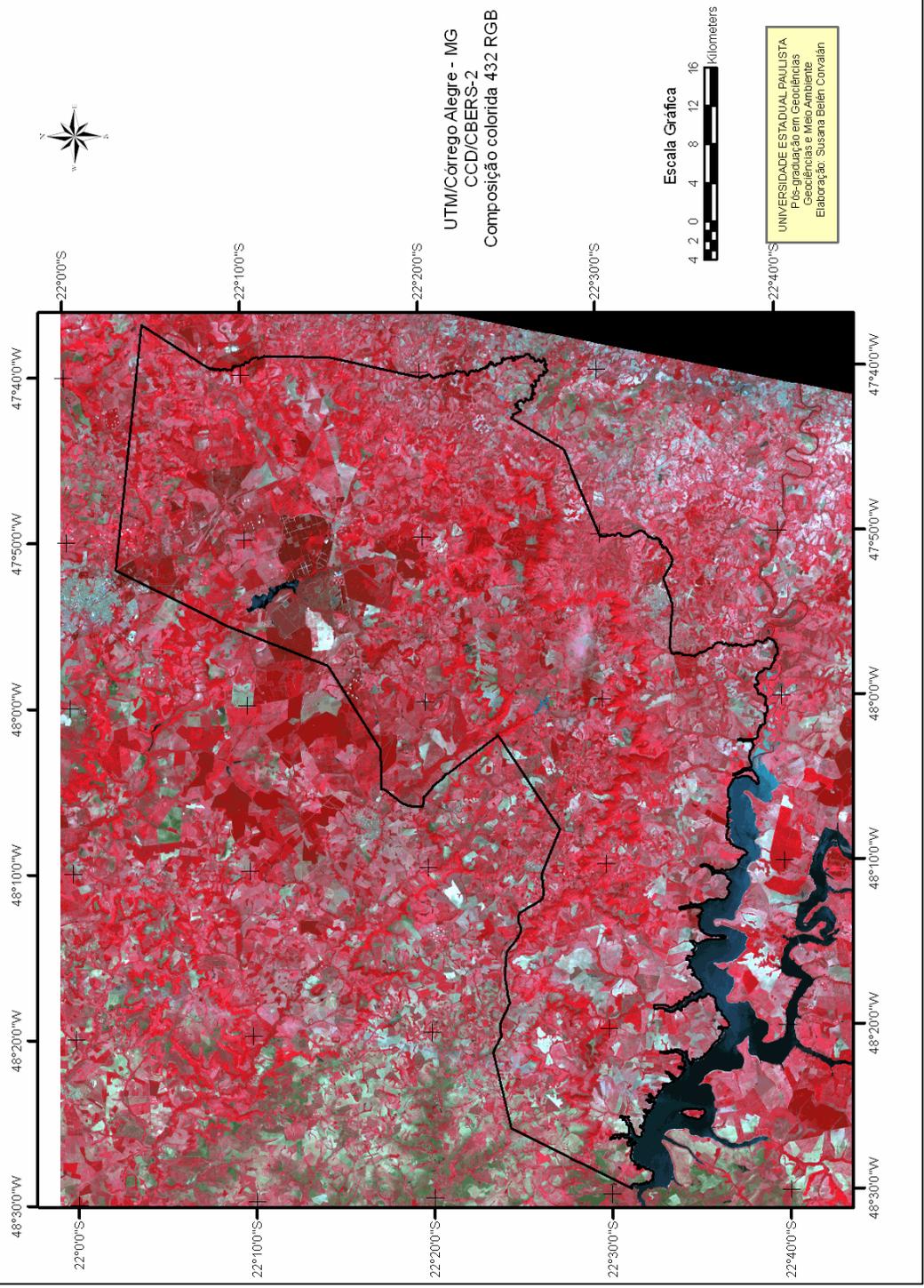


Figura 15 - Composição colorida da imagem CCD/CBERS-2, bandas 432-RGB, correspondente a passagem do dia 31/10/2006.

Como resultado final, elaborou-se o mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal (Figura 16), com as seguintes classes: mata, cerrado, floresta plantada, cultura anual, cultura perene, cana de açúcar, solo exposto e mineração.

Na Figura 16 pode-se observar ainda que, onde há presença de vegetação natural, no caso de mata, está representada pela cor vermelha, e nas áreas onde ocorre o cerrado visualiza-se a cor verde claro. Quanto à forma nota-se que o contorno das áreas de vegetação nativa é irregular, já as áreas com presença de culturas apresentam contorno de forma regular.

A Tabela 10 apresenta as classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal encontradas na APA com suas correspondentes áreas em km² e em porcentagem.

O setograma da Figura 17 apresenta a porcentagem de cada uma das classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal. Nesse gráfico as cores utilizadas para representação das classes de uso são as mesmas da Figura 16.

O cultivo de cana de açúcar representa mais de 27% da área total e encontra-se localizada principalmente no centro da APA e ao sul das serras (Itaquerí, São Pedro). Identificaram-se também pequenas ocorrências no alto (platô) das mesmas (Figura 18).

Uso da Terra e Cobertura Vegetal da APA Corumbataí

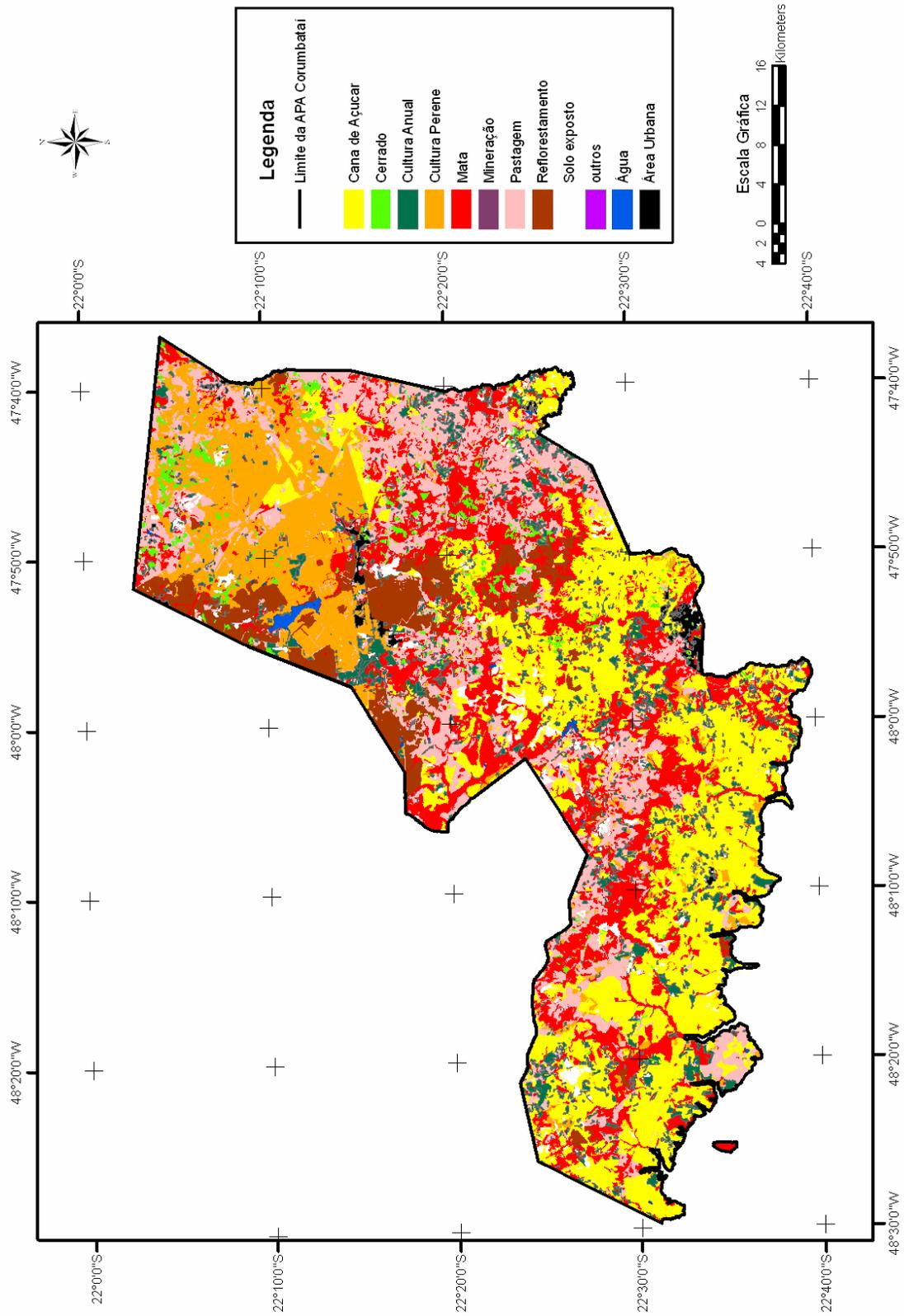


Figura 16 -Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal da APA Corumbataí.

A mata ocupa o segundo lugar quanto à classe de porcentagem, representada por mais de 21% da área total e, como pode observar-se nas Figuras 19 e 20, encontra-se localizada, principalmente, nas encostas das serras e nos cursos de água (embora haja grandes áreas desmatadas).

Tabela 10 - Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal da APA Corumbataí.

Classe	Representação	Área (km²)	Área (%)
Mineração	Evidências de mineração	0,08	0,001
Outros	Uso indeterminado e planícies aluvionais	0,14	0,01
Água	Represas, lagoas, lagos, etc	9,05	0,33
Área Urbana	Municípios, bairros, áreas de construções	28,91	1,06
Cerrado	Vegetação de cerrado	59,56	2,19
Solo exposto	Áreas descobertas na passagem do satélite	61,33	2,25
Reflorestamento	Plantios de Pinus e Eucaliptus	162,07	5,96
Cultura Anual	Milho, sorgo, mandioca, etc	166,60	6,12
Cultura Perene	Café, citricultura, etc	371,79	13,66
Pastagem	Pasto cultivado Áreas de campo antrópico	509,14	18,71
Mata	Floresta Estacional Semidecidual e Mata ciliar	594,19	21,84
Cana de Açúcar	Cana em diversos estádios Áreas de queimadas Áreas preparadas	758,40	27,87
TOTAL		2.721,27	100

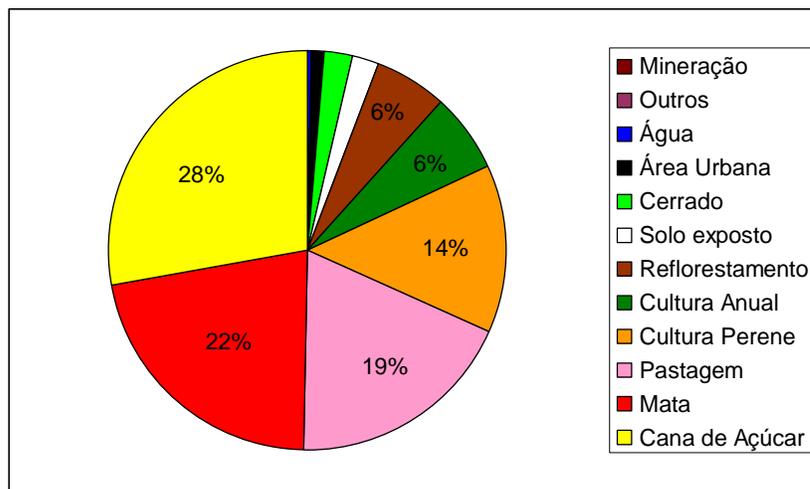


Figura 17 - Gráfico de porcentagem de ocorrência das classes do mapa Uso da Terra e Cobertura Vegetal.



Figura 18 - Terras preparadas para cultivo de cana de açúcar, às margens da rodovia São Pedro-Itirapina.



Figura 19 - Floresta Estacional Semidecidual nas encostas da Serra de Itaquerí.



Figura 20 - Ponte sobre o Rio Corumbataí, no entroncamento com a Rodovia SP 310.

Já a pastagem, representa mais de 18% da área total e como mostra a Figura 21, encontra-se, principalmente, na base das encostas serranas, substituindo áreas originais ocupadas por mata.

A cultura perene ocupa mais de 16% da área total, e está representada principalmente na APA por plantios de laranja (citricultura) e café. Predomina no município de Itirapina, na zona norte da APA (Figura 22).



Figura 21 - Foto panorâmica da Serra de Itaquerí.



Figura 22 - Plantio de citros no município de Itirapina, às margens da Rodovia SP-225.

A cultura anual ocupa pouco mais de 6% da área total e encontra-se distribuída por toda a APA. Como exemplo deste tipo de cultura, na Figura 23 visualiza-se cultivo de milho.

O reflorestamento, representada por *Pinus* e *Eucaliptus*, ocupa quase 6% da área total da APA. Algumas dessas áreas encontram-se em beira de rios, base de serras; outras na beira da estrada SP-255, no município de Itirapina (Figura 24).



Figura 23 - Plantio de milho no município de Ipeúna, as margens da antiga estrada Rio Claro-Ipeúna.

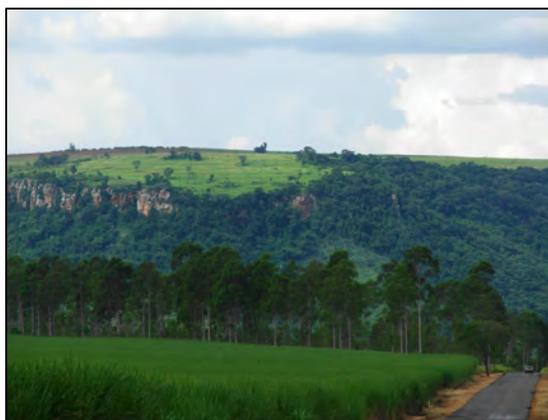


Figura 24 - Plantio de *Eucaliptus*. No fundo, a serra do Tabuleiro, no município de Santa Maria da Serra.

Encontram-se manchas esparsas de cerrado, nas proximidades de Itirapina e representam tão só 2% da área total, já que cederam espaço a reflorestamento incentivados de *eucaliptus* e/ou atividades agropecuárias. Algumas delas estão localizadas na Estação Ecológica de Itirapina, no morro Pelado (morro testemunho); outras na beira da Rodovia Ulisses Guiramares, estrada Itirapina-Itaqueri da Serra.

5.3 Mapas de fatores

Como explicado no capítulo anterior, todos as classes dos fatores foram ponderadas, com valores segundo o grau de vulnerabilidade de cada classe, sendo estes compreendidos entre 1 (um) a 10 (dez).

A seguir, são apresentados os fatores de avaliação, já ponderados, por meio de quadros e mapas. É importante ressaltar que a ponderação dos fatores foi realizada somente em função das características básicas de cada tema, ou seja, ao analisar o fator geologia foram consideradas apenas as unidades geológicas, e não o tipo do relevo ao qual está associada.

5.3.1 Áreas de Preservação Permanente

Foi realizada uma tabulação cruzada entre o mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal e o mapa de APPs. O resultado dessa tabulação cruzada mostra os diferentes usos da Terra nas APP de nascentes, de mata ciliar e de encostas. Em todas as APPs o uso mais expressivo é dado pela ocorrência da classe “mata”, no entanto ocorrem usos indevidos (em destaque na cor cinza na Tabela 11), decorrentes da principal atividade econômica na região: a cana de açúcar e a pastagem (Figura 25).

A Tabela 12 apresenta a quantidade em km² e a porcentagem da área total das APPs de nascentes, mata ciliar e encostas, ocupadas pela vegetação nativa (mata e cerrado). As áreas de nascentes e de mata ciliar são as mais deterioradas, uma vez que apenas 34% e 35% da área total, respectivamente, estão constituídas por vegetação nativa. Este resultado reflete o problema relacionado ao uso inapropriado das APPs, sendo que em área de nascentes, a cana de açúcar e a pastagem ocorrem em, aproximadamente, 19% e na área de mata ciliar, a cana de açúcar ocorre em, aproximadamente, 21% (Figura 26) e a pastagem em 17 % da área total.

Esse resultado, decorrente do desrespeito da lei N° 4.771 e da falta de fiscalização, foi explícito nas avaliações das saídas de campo, uma vez que foi avaliado e fotografado o uso na beira dos rios visitados. Nesse sentido, constatou-se *in loco*, diferenças quanto à preservação e uso nos locais visitados. Na zona centro-norte da APA, as APPs de mata ciliar encontram-se pouco conservadas ou até totalmente desmatadas (Figura 27), quando comparadas com as da porção sul (Figura 28 e Figura 29), embora apresentem extensas áreas de cultivo de cana de açúcar.

A faixa de encostas é a que apresenta maior cobertura de vegetação (mata e cerrado), sendo assim a melhor preservada das APPs, apresentando 70% de cobertura nativa. Verificou-se ainda que, embora seja de difícil acesso, 9,5% está desmatada para uso intensivo de pastagem, chegando a beirar a base das *cuestas* (Figura 30).

Tabela 11 - Uso da Terra nas APPS de nascentes, matas ciliares e encostas.

	ÁREAS DAS NASCENTES		ÁREAS DAS MATAS CILIARES		ÁREAS DAS ENCOSTAS	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Mata	4,4580	30,68	72,0048	33,09	34,2812	65,76
Cana de açúcar	2,8532	19,64	47,2804	21,73	3,1588	6,06
Pastagem	2,8052	19,31	38,3216	17,61	4,9500	9,50
Cultura perene	2,2572	15,54	31,6628	14,55	2,6020	4,99
Cultura anual	0,8308	5,72	10,6836	4,91	1,7264	3,31
Reflorestamento	0,5012	3,45	7,6116	3,50	3,1052	5,96
Água	0,0012	0,01	2,0356	0,94	0,0040	0,01
Cerrado	0,5044	3,47	5,4768	2,52	2,3084	4,43
Solo exposto	0,2672	1,84	1,974	0,91	0,2068	0,40
Área urbana	0,05	0,34	0,5672	0,26	0,0072	0,01
Outros	0	0	0	0	0	0
Usos Indevidos	65,78%		64,71%		30,16%	

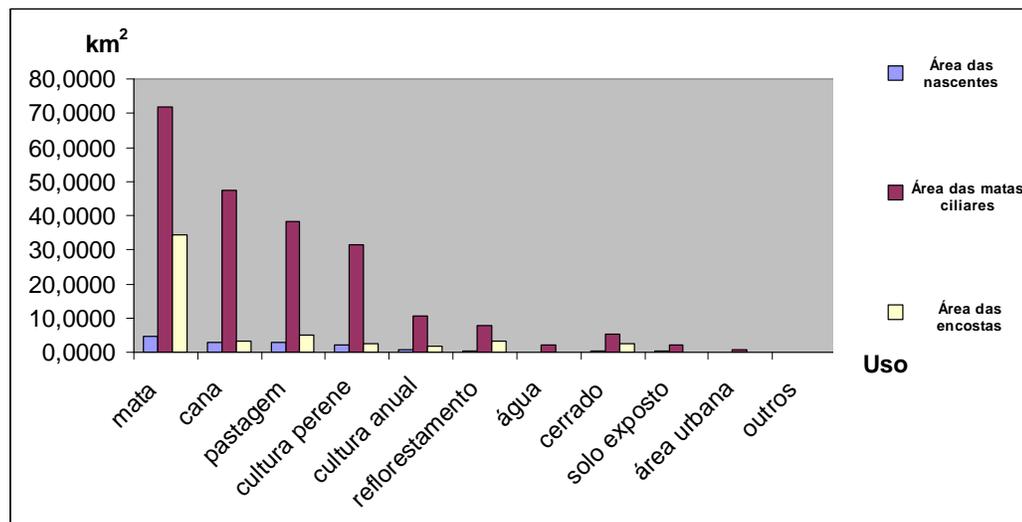


Figura 25 - Representação gráfica do uso das Terras em cada APPS.

Tabela 12 - Distribuição da vegetação nativa segundo faixa de proteção.

APPs	Vegetação Nativa	
	km ²	%
nascentes	4,96	34,22%
faixa mata ciliar	77,48	35,30%
encosta >45%	36,59	69,84%



Figura 26 - Cana de açúcar na beira do Ribeirão Água Vermelha, às margens da Rodovia SP191 (saída de Ipeúna-Charqueada). Leste da APA.



Figura 27 - Ausência de faixa de mata ciliar no Rio Jacaré Pepira, as margens da Rodovia SP197. Centro da APA.



Figura 28 - Ribeirão da Prata, as margens da estrada de terra Barra Bonita-Santa Maria da Serra. Sul da APA.



Figura 29 - Ribeirão da Onça. Sul da APA.



Figura 30 - Pecuária na base da Serra do Itaquerí.

O mapa das APPs da APA foi gerado conforme o artigo 2º do Código Florestal Brasileiro e as Resoluções CONAMA Nº 302/02 e Nº 303/02. Este mapa ajudará a identificar áreas de uso conflitivo (conforme Zoneamento da APA) como um parâmetro para avaliar o grau de conservação das mesmas.

A Figura 31 apresenta as APPs de nascentes, rios e reservatórios da APA Corumbataí, baseado nas dimensões de faixa da mata ciliar, estabelecida pelas legislações acima citadas (Quadro 3, do item 4.7) e as APPs de encosta, gerada a partir do mapa de declividade, correspondendo às declividades iguais ou maiores a 45°.

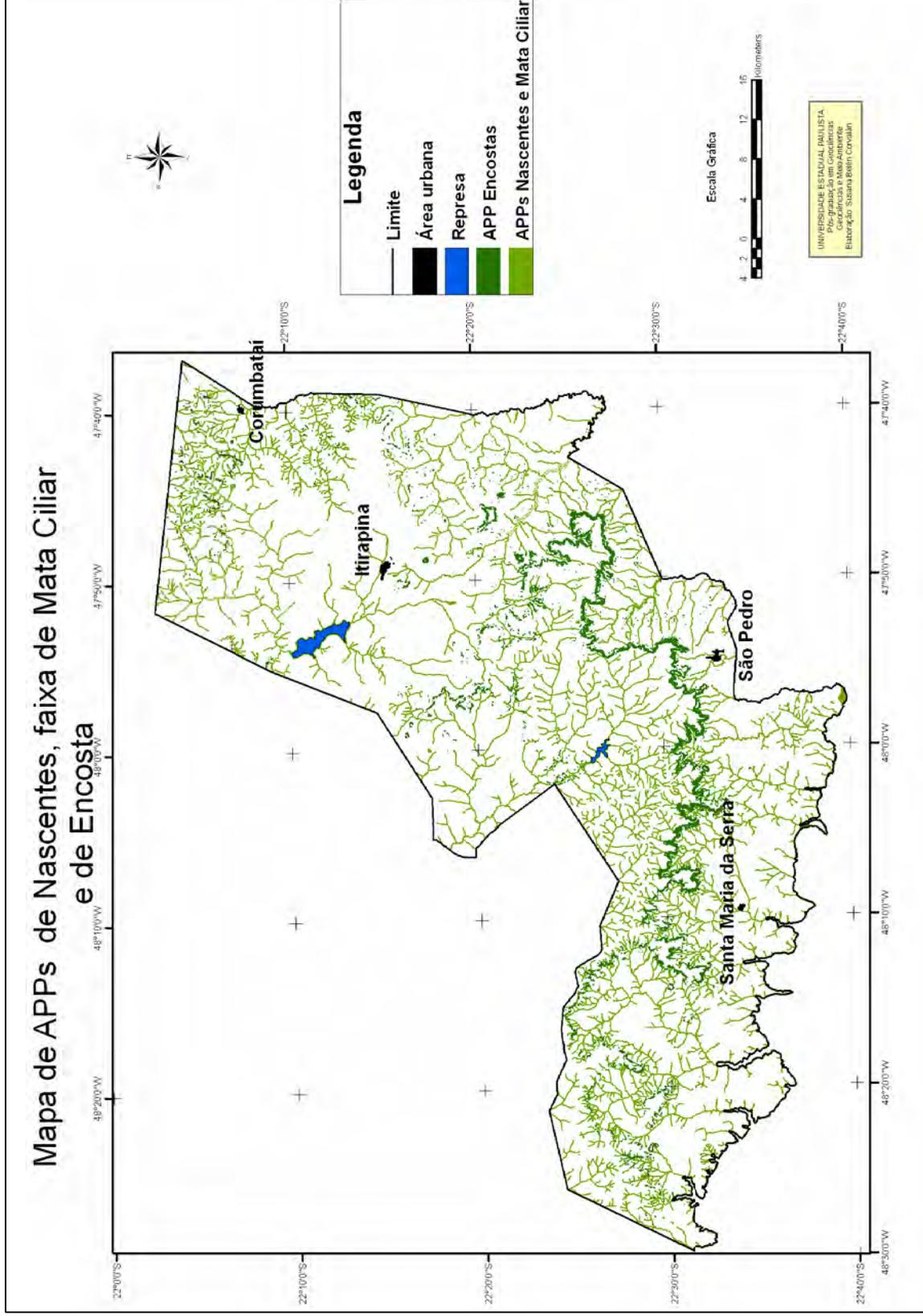


Figura 31 - Mapa de APPs de Nascentes, Mata Ciliar e de Encostas da APA Corumbataí.

5.3.2 Fator Distância aos Recursos Hídricos

Este fator foi subdividido em quatro mapas, todos elaborados em base ao mapa (PI) rede de drenagem da APA.

A Tabela 3, do item 4.7 apresenta os intervalos e as classes de vulnerabilidade associadas, dos mapas Distância das Nascentes (Figura 32), Distância das Represas (Figura 33), Distância das APPs50m (Figura 34) e Distância das APPs30m (Figura 35), significando que quanto mais próximo do corpo de água ou nascente, maior é a vulnerabilidade.

Cabe lembrar que, para os quatro mapas, os valores mínimos (dos intervalos Muito Alta Vulnerabilidade) correspondem aos valores de faixa mínima de mata ciliar, explicitada por lei, e os valores máximos (dos intervalos Muito Alta Vulnerabilidade) se correspondem com os valores de cota máxima, gerada anteriormente em cada grade para cada um dos mapas.

Mapa de Vulnerabilidade da APA Corumbataí segundo o fator Distância das Nascentes

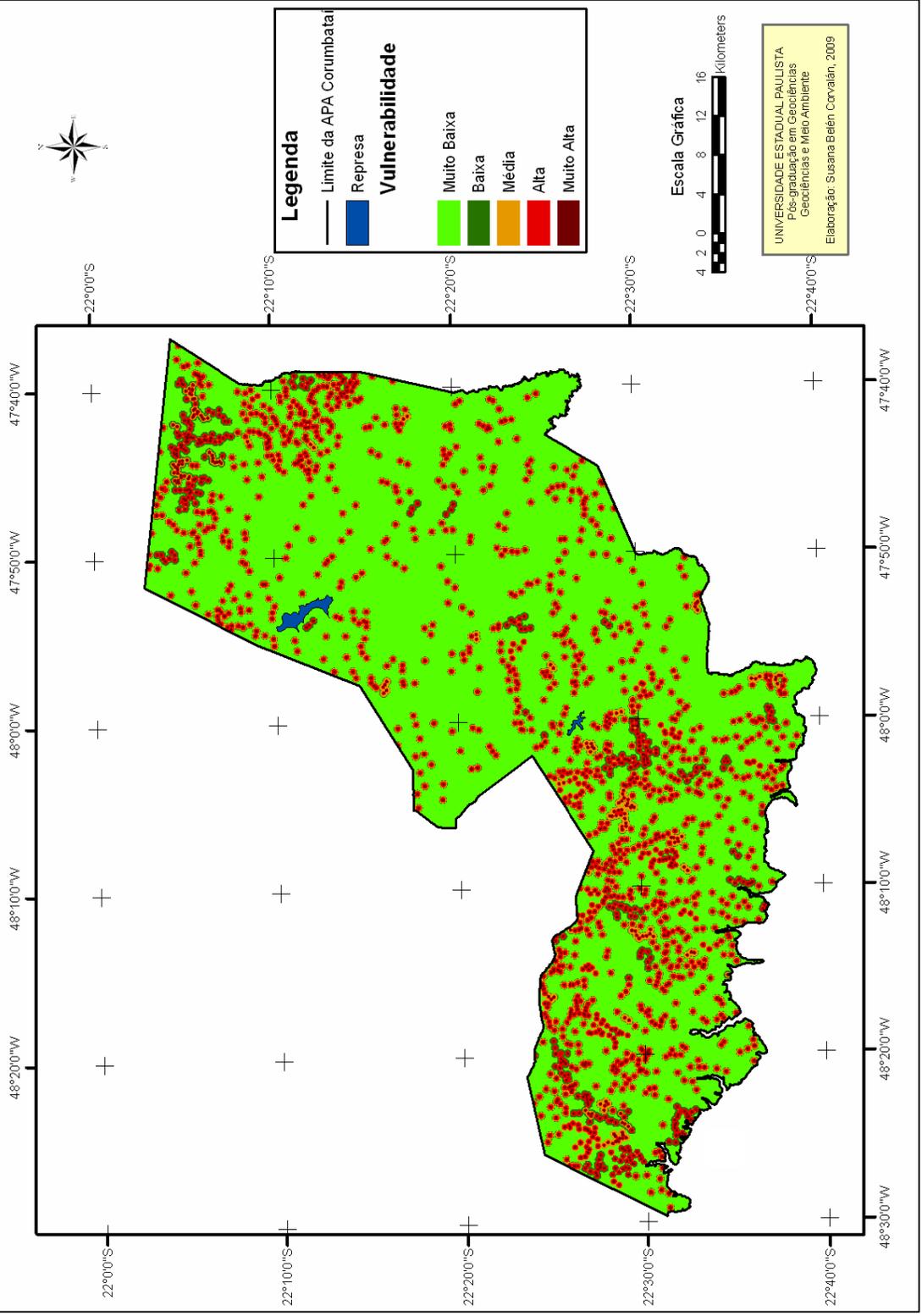


Figura 32 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Distância das Nascentes.

Mapa de Vulnerabilidade da APA Corumbataí segundo o fator Distância das Represas

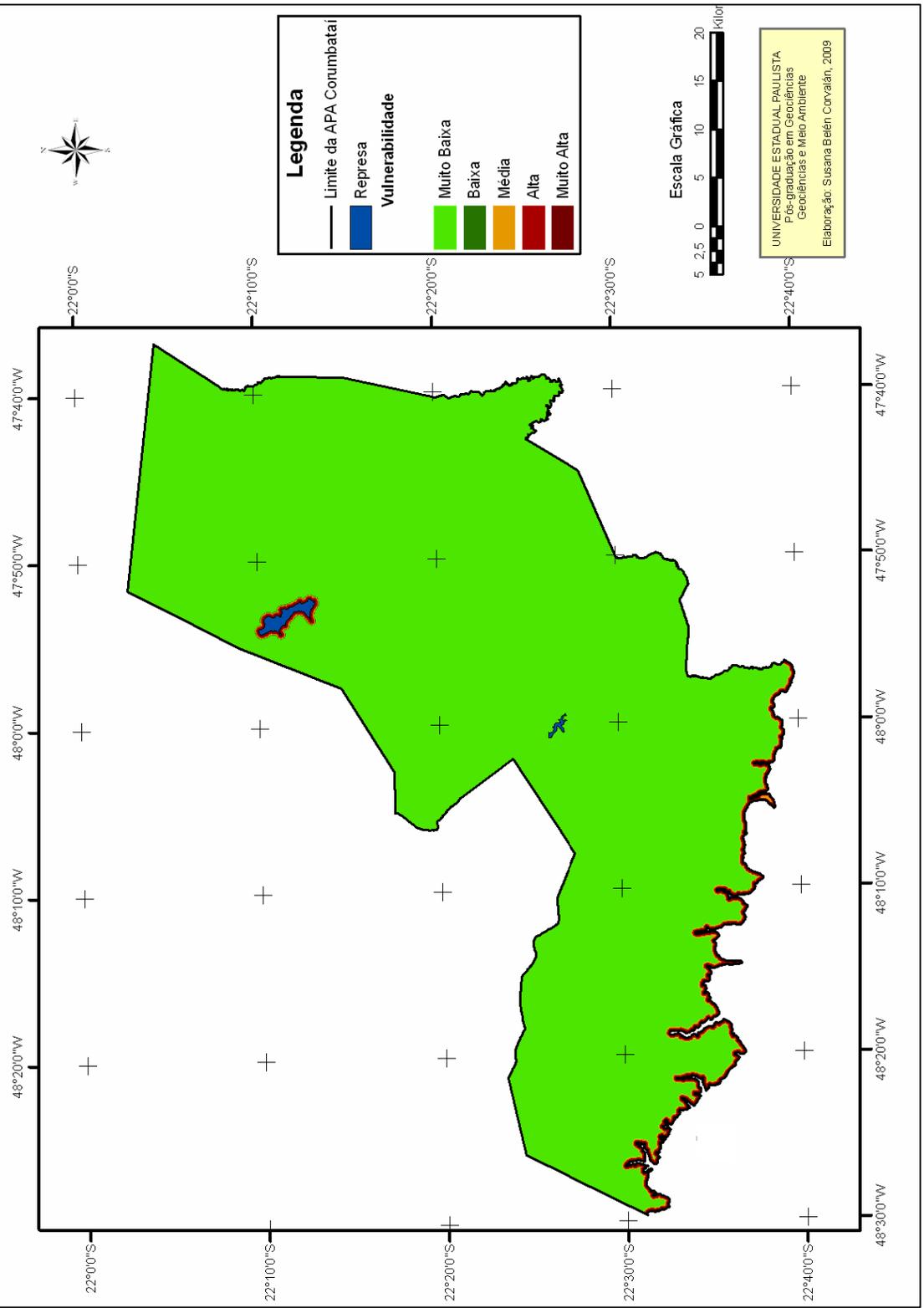


Figura 33 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Distância das Represas

Mapa de Vulnerabilidade da APA Corumbataí segundo o fator Distância das APP50m

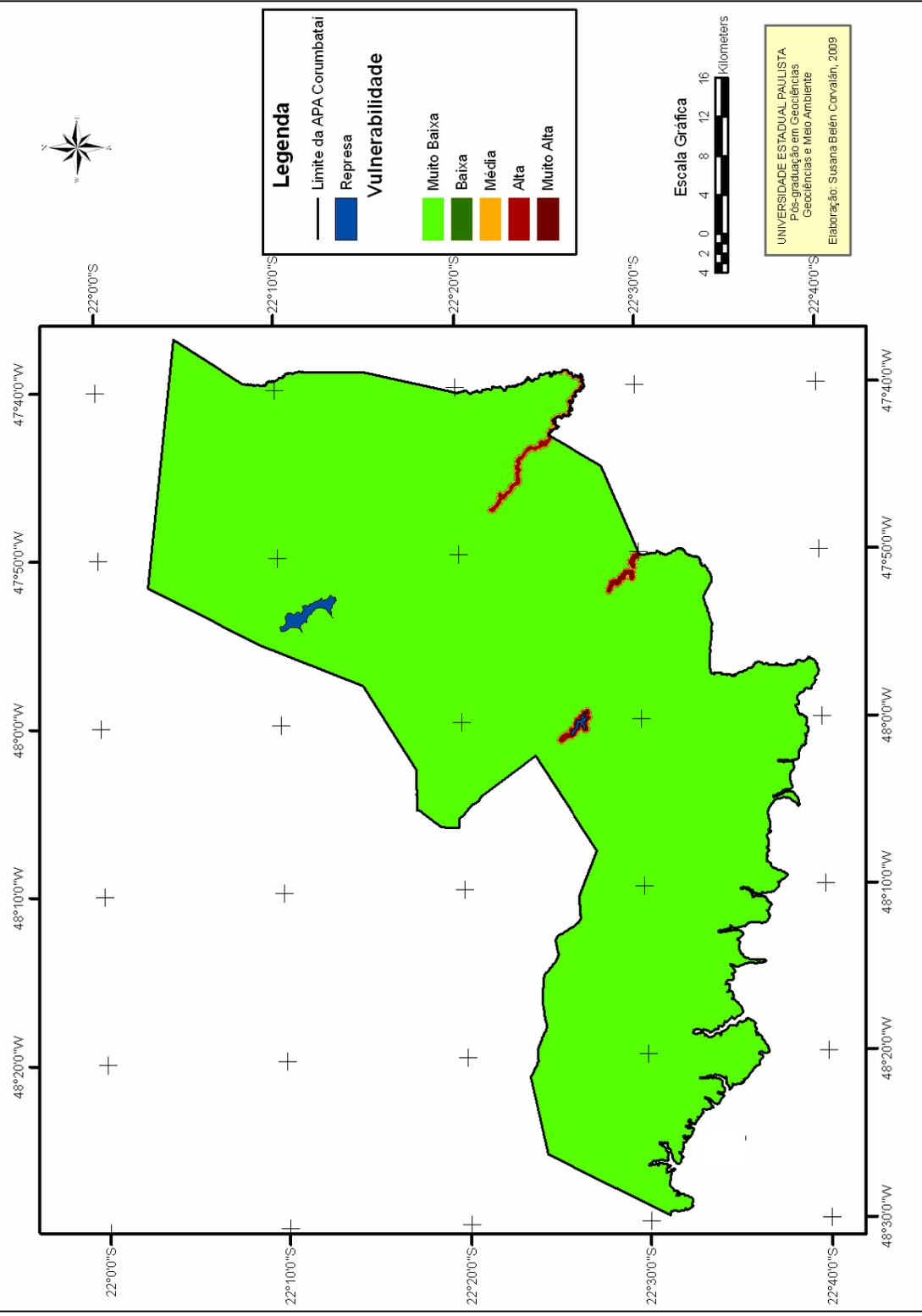


Figura 34 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Distância das APPs50m.

Mapa de Vulnerabilidade da APA Corumbataí segundo o fator Distância das APPs30m

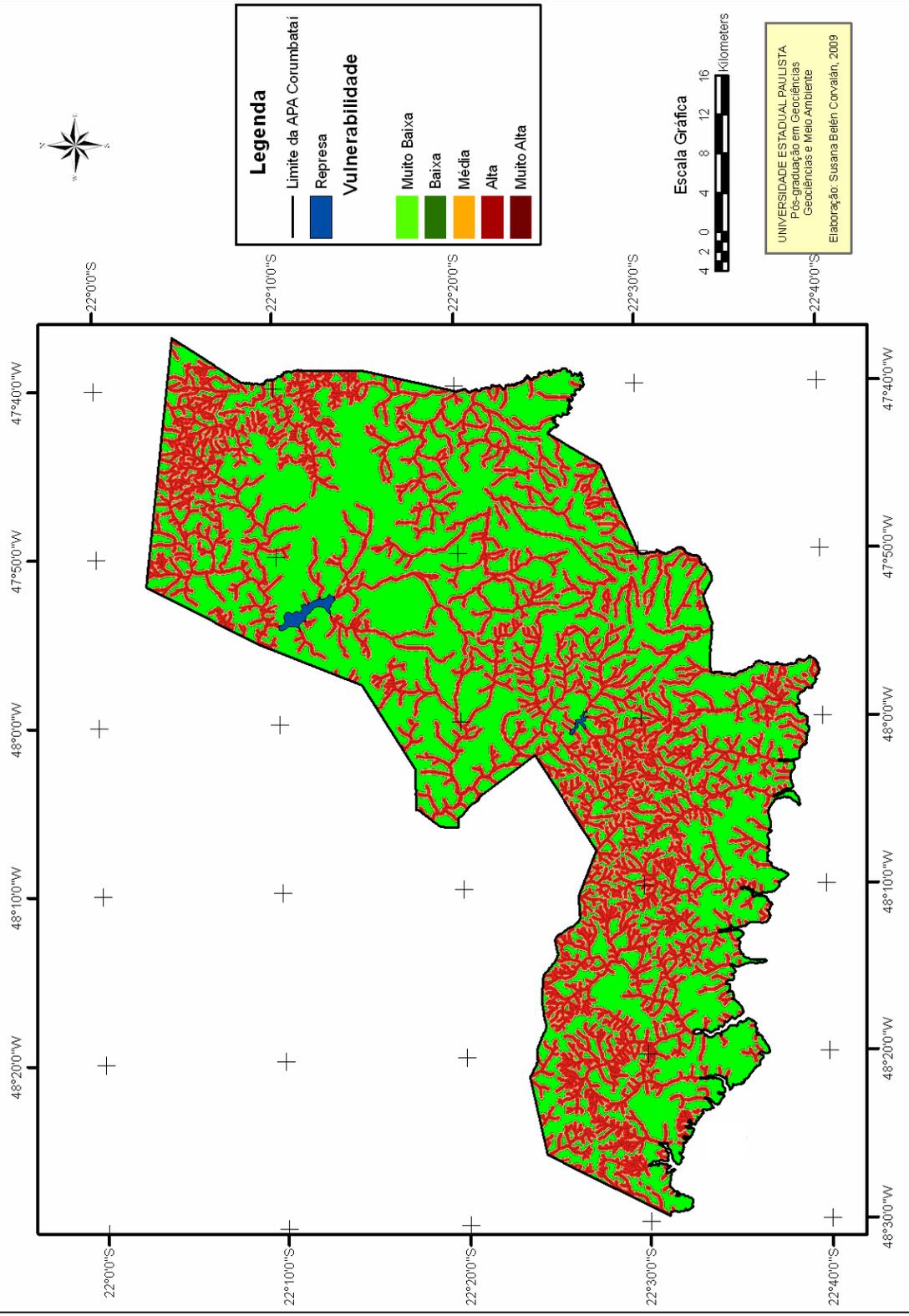


Figura 35 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Distância das APPs30m.

5.3.3 Fator Declividade

Os intervalos de declividade assumidos no presente trabalho foram apresentados na Tabela 4, do item 4.7, assim como seus respectivos valores ponderados representando os diferentes graus de vulnerabilidade. A Figura 36 apresenta o mapa de Vulnerabilidade para esse fator.

Mapa de Vulnerabilidade da APA Corumbataí segundo o fator Declividade

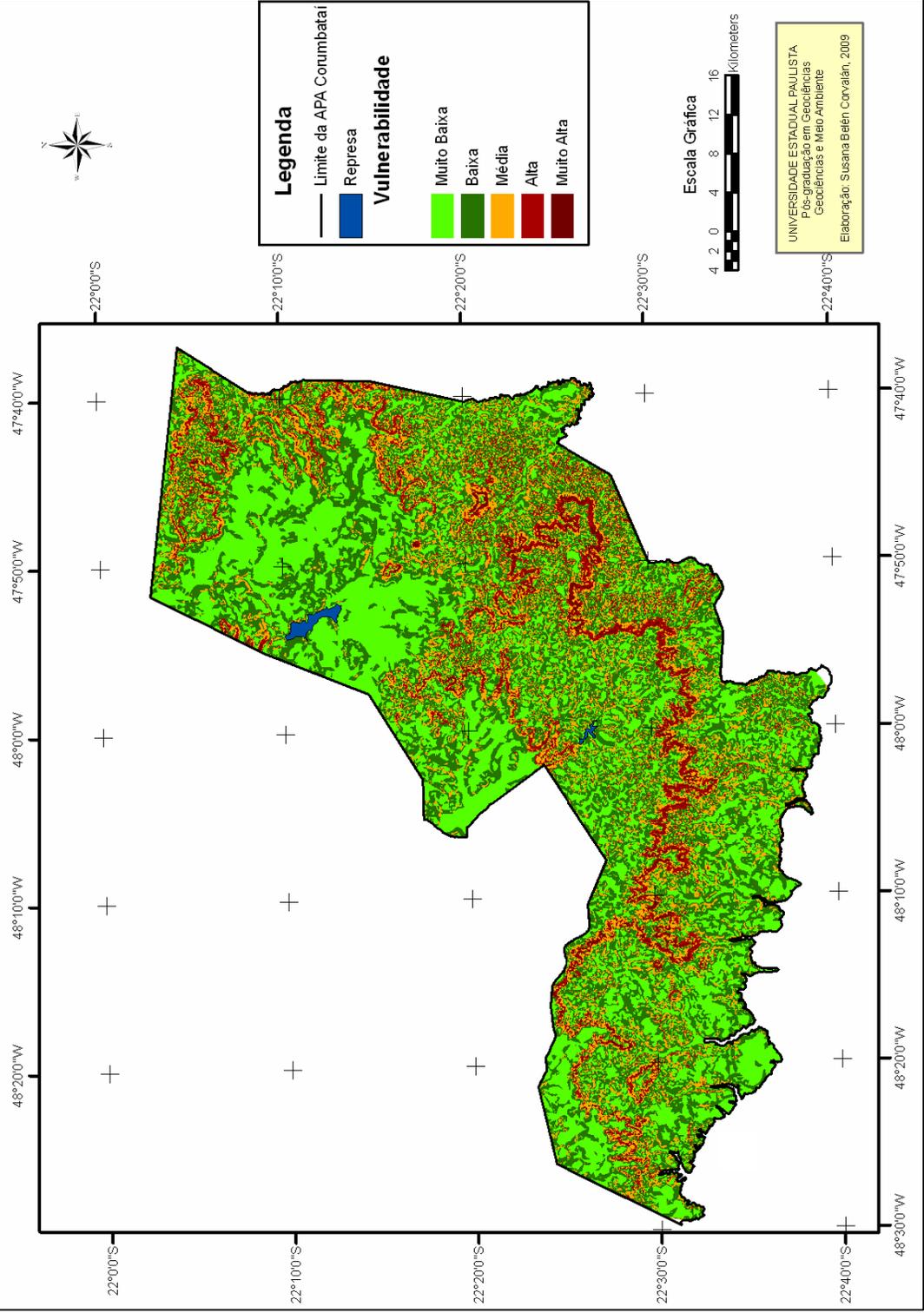


Figura 36 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Declividade.

5.3.4 Fator Erodibilidade do Solo

A fragilidade do solo ou erodibilidade corresponde à vulnerabilidade do solo à erosão. As diferenças nos atributos físicos e químicos explicam em muitos casos o fato de alguns solos erodirem mais que outros mesmo estando expostos a uma mesma condição ambiente.

Os solos foram ponderados segundo sua capacidade de resistir à erosão, e no caso de solos pertencentes à mesma classe, foi avaliada a textura para a determinação do peso final (Tabela 5, do item 4.7).

Como resultado da ponderação das classes de solos, foram obtidos valores de Alta a Média Vulnerabilidade, conforme pode ser visualizado na Figura 37. Nesse mapa, as áreas de ocorrência de solos de Alta Vulnerabilidade estão representadas por, aproximadamente, 1.571 km², enquanto as áreas de ocorrência de solos de Média Vulnerabilidade estão dadas, aproximadamente, por 1.139 km².

Mapa de Vulnerabilidade da APA Corumbataí segundo o fator Erodibilidade

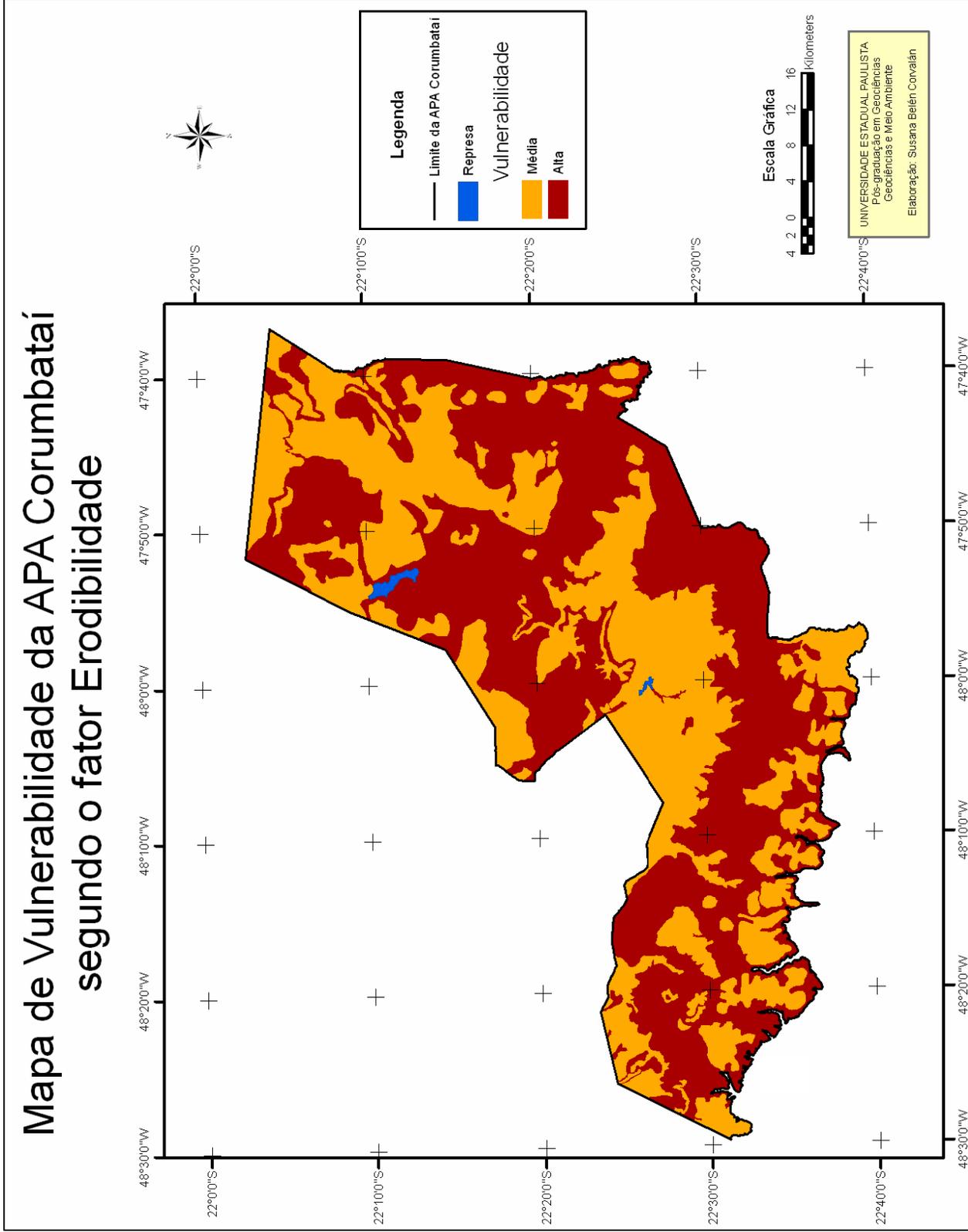


Figura 37 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Erodibilidade.

5.3.5 Fator Geologia

Foram analisados os processos erosivos atuantes, avaliando no mapa geológico as características litológicas e estruturais da área. De forma geral, os valores de vulnerabilidade ou estabilidade das rochas (litologia), utilizados no presente trabalho, basearam-se na proposta de Crepani et al., (1996), como podem ser observados na Tabela 6 (item 4.7). Esses valores foram determinantes para a ponderação das classes do fator Geologia presentes na região (Tabela 7, do item 4.7).

O mapa representando a vulnerabilidade segundo a geologia apresenta-se na Figura 38.

Mapa de Vulnerabilidade da APA Corumbataí segundo o fator Geologia

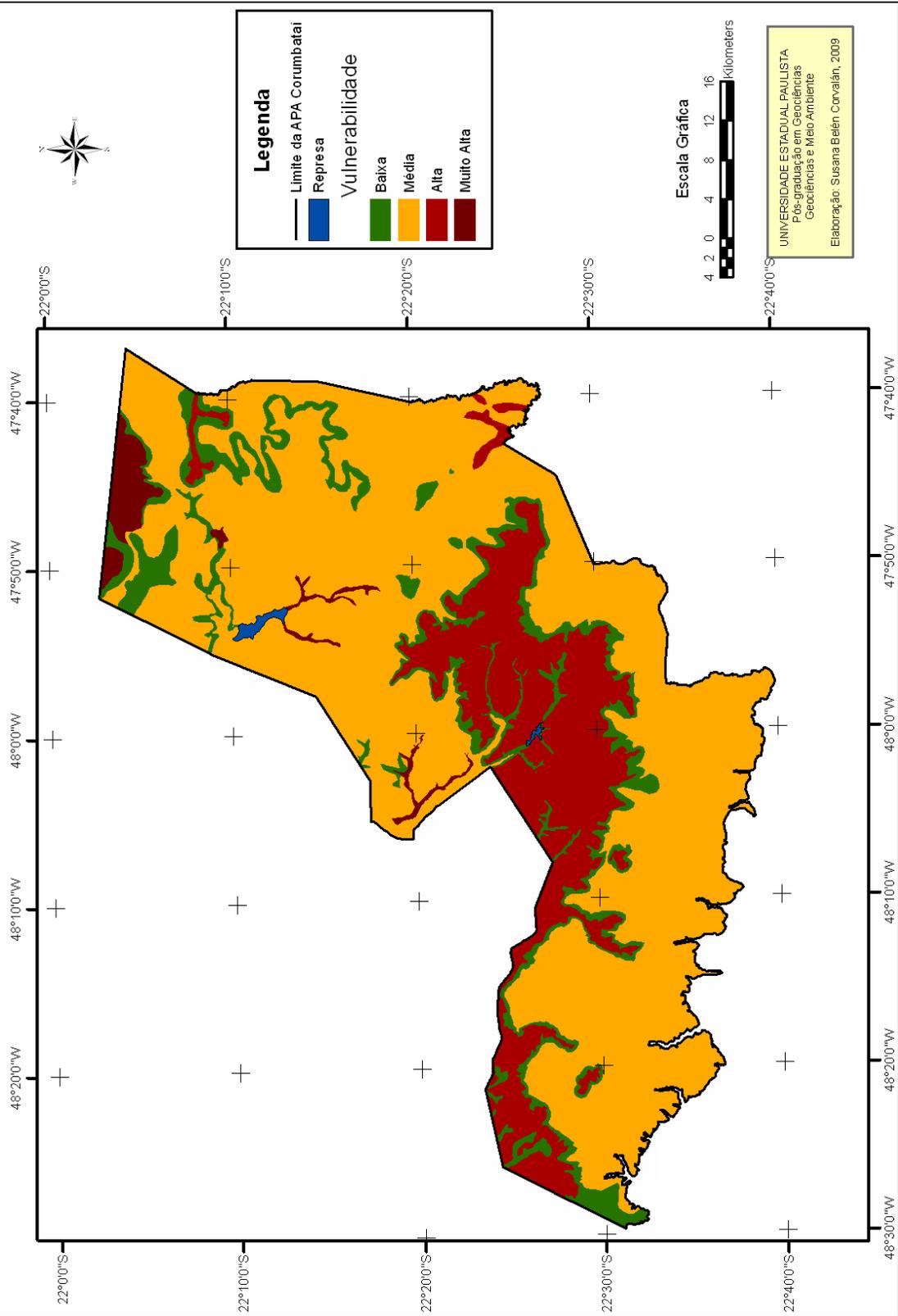


Figura 38 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Geologia.

5.3.6. Fator Geomorfologia

Foram ponderadas cada classe de unidades de relevo analisando as características do Quadro 2 (apresentado no item 3.2.2), conforme apresentado na Tabela 8, do item 4.7. Baseado nesses valores foi elaborado o mapa de Vulnerabilidade da APA segundo o fator Geomorfologia (Figura 39).

Mapa de Vulnerabilidade da APA Corumbataí segundo o fator Geomorfologia

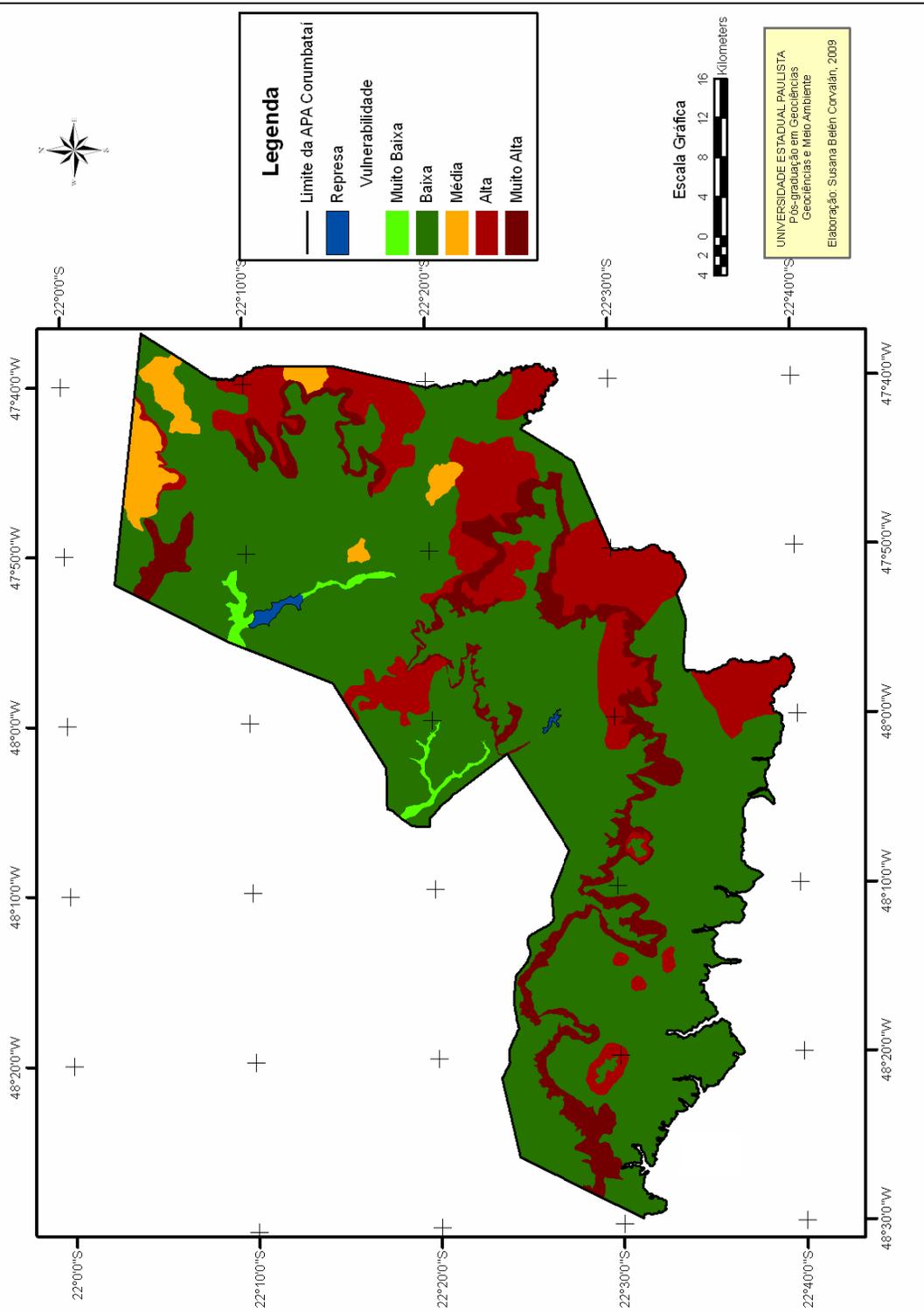


Figura 39 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Geomorfologia.

5.3.7 Fator Cobertura Vegetal

Os diferentes tipos cobertura vegetal identificados no mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal foram ponderados segundo o grau de proteção à erosão que cada classe vegetacional proporciona ao solo (Tabela 9, do item 4.7). Desta forma, quanto mais densa for a vegetação, maior o poder de proteção contra a chuva, e, conseqüentemente, menor a erosão.

Na Figura 40, se observa o mapa de Vulnerabilidade segundo o fator Erodibilidade

Mapa de Vulnerabilidade da APA Corumbataí segundo o fator Cobertura Vegetal

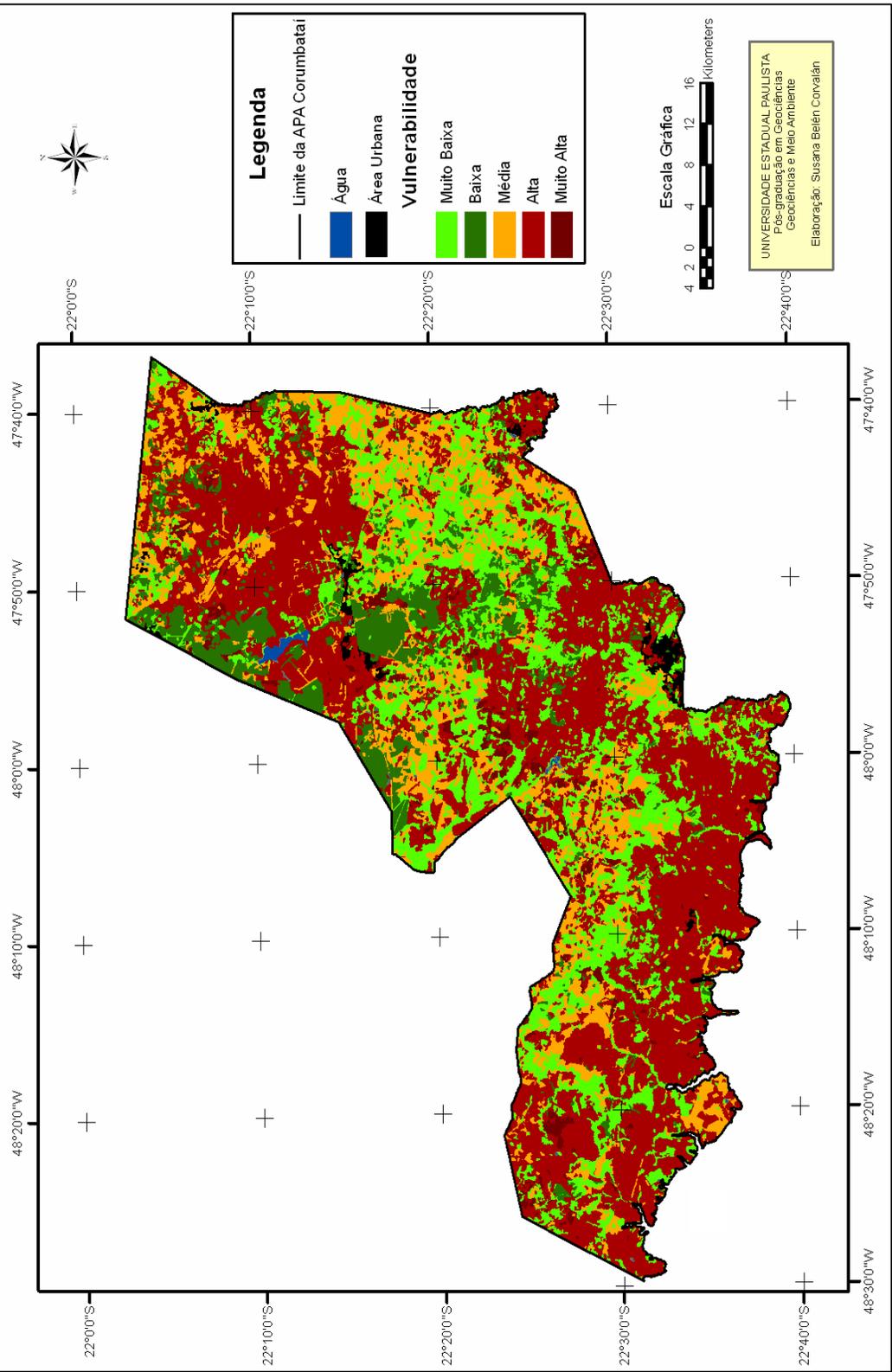


Figura 40 - Vulnerabilidade da APA Corumbataí, segundo o fator Cobertura Vegetal.

5.4. Combinação dos critérios segundo o Método Multicritério

Para a realização da Combinação Linear Ponderada dos fatores Distância dos Recursos Hídricos, Geologia, Gemorfologia, Pedologia, Declividade e Uso da Terra e Cobertura Vegetal foi utilizada a linguagem de programação LEGAL no programa SPRING. O resultado dessa operação é um PI numérico com resolução de 20m, valores Mínimo=1 e Máximo=10 e escala de 1:40.000.

Para efeito de teste foram utilizados diferentes pesos para cada fator, gerando modelos distintos, dados em função de que fator é considerado mais importante para a avaliação da Vulnerabilidade Ambiental.

A seguir são apresentados os mapas e a análise de Vulnerabilidade Ambiental para o modelo em que o fator Cobertura Vegetal assume maior importância, e depois para o modelo onde o fator Erodibilidade assume maior importância.

O resultado da aplicação da Combinação Linear Ponderada deu origem, para cada modelo, a uma imagem em níveis de cinza e uma grade retangular. Após isso foi feito o fatiamento dessa grade em cinco intervalos de vulnerabilidade, associados às classes: Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito Baixa Vulnerabilidade Ambiental.

5.4.1 Fator Cobertura Vegetal como fator de maior importância

Na Tabela 13, podem-se visualizar os pesos atribuídos aos diversos fatores no modelo em que o fator Cobertura Vegetal recebeu maior peso (0,30).

Os intervalos utilizados no presente trabalho, para classificar o mapa de Vulnerabilidade Ambiental são apresentados na Tabela 14. Esses intervalos foram determinados pela distribuição em área, das classes de vulnerabilidade, conforme apresentada na Figura 41, na qual buscou-se uma curva que se aproximasse de um modelo gaussiano. Essa distribuição, decorrente dos intervalos escolhidos privilegia a identificação das classes Alta e Muito Alta; isso se justifica pelo fato de que esse trabalho busca efetivamente assinalar as áreas de maior vulnerabilidade, já que nestas ocorrem a maior parte dos problemas provenientes das atividades humanas.

Na tabela 14, pode-se notar ainda, que a amplitude dos intervalos (largura da faixa) das classes Muito Baixa e Muito Alta é de 1,5. Já nos intervalos das classes Baixa, Média e

Alta, a amplitude dos intervalos é 1,0. Adotou-se intervalos de maior amplitude nas bordas devido ao baixo número de *pixels* presentes nos valores extremos, resultantes da Combinação Linear Ponderada.

A Figura 42 apresenta o mapa de Vulnerabilidade Ambiental derivado desta análise.

Tabela 13 - Fatores com seus correspondentes pesos.

Fatores	Peso
Declividade	0,14
Erodibilidade	0,15
Geologia	0,11
Geomorfologia	0,14
Cobertura Vegetal	0,30
Distância das APPs30m	0,04
Distância das Nascentes	0,05
Distância das Represas	0,03
Distância das APPs50m	0,04

Tabela 14 - Intervalos usados para a classificação da imagem de Vulnerabilidade Ambiental e quantificação das classes.

Valores dos Intervalos	Área (Km ²)	%	Vulnerabilidade Ambiental
(1 – 2,5)	4,00	0,15	Muito Baixa
(2,5– 3,5)	278,77	10,28	Baixa
(3,5– 4,5)	834,65	30,78	Média
(4,5– 5,5)	1.242,12	45,8	Alta
(5,5– 8,0)	352,33	12,99	Muito Alta
TOTAL	2713,01	100	

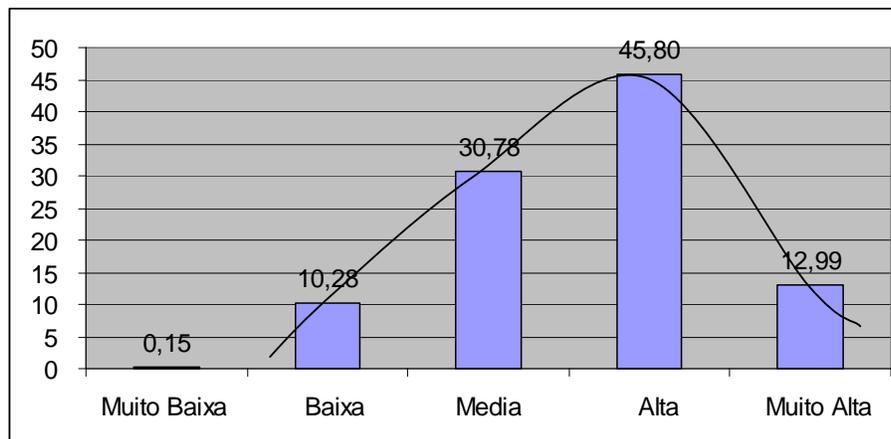


Figura 41 – Representação gráfica das classes, em porcentagem, de Vulnerabilidade Ambiental.

A maior frequência de ocorrência está dada pela classe Alta, presente em 45,80% do mapa e distribuídos em, aproximadamente, 1.242km² de área, enquanto a classe Média é a segunda classe de maior ocorrência, distribuídas em, aproximadamente, 835 km² (30,78%). Já a classe Muito Alta ocorre em 12,99% (aprox. 352 km²) e a Baixa em 10,28% (aprox. 279 km²). Com respeito a Classe Muito Baixa, ela ocorre em forma de *pixels* isolados, presente em tão só 0,15%, em associações com a classe Baixa, pelo que será desprezada do análise.

A classe Alta encontra-se distribuída por toda a APA, em, aproximadamente, 1.242km². Devido ao fator Cobertura Vegetal ter assumido maior importância, os principais usos, na classe Alta estão dados por culturas que oferecem pouca proteção ao solo, como os de cana de açúcar (36%), cultura perene (16%) e pastagem (20%). Em relação aos solos, o Latossolo Vermelho-Amarelo apresenta valores mais significativos, ocorrendo em 27% da classe, seguidos de solos de alta erodibilidade, dados pelos Neossolo Quartzarênico (19%), Argissolos Vermelho-Amarelo (18%) e Neossolos Litólicos (12%). No que se refere à declividade, 42% encontram-se em relevo suave (0-5%) e 29% em relevo moderadamente ondulado (5-12). A classe Colinas Amplas e Colinas Médias apresentaram valores mais significativos, distribuídas em 40% e 27%, respectivamente, e em menor proporção a classe Morrotes Alongados e Espigões (16%). Geologicamente, a formação Pirambóia ocorre em quase a metade da área (47%) e em menor expressão a Formação Itaqueri (18%), Botucatu (16%) e Serra Geral (14%). Quanto a Distância dos Recursos Hídricos, a classe Alta ocorre 34% em áreas de APPs30m (0-30m), apresentando porcentagem maior quando comparada com as outras classes de APPS, evidenciando maior fragilidade da área próximo aos recursos hídricos e 2% em áreas de APPs de Nascentes (0-50m).

Mapa de Vulnerabilidade Ambiental da APA Corumbataí assumindo maior importância o fator Cobertura Vegetal

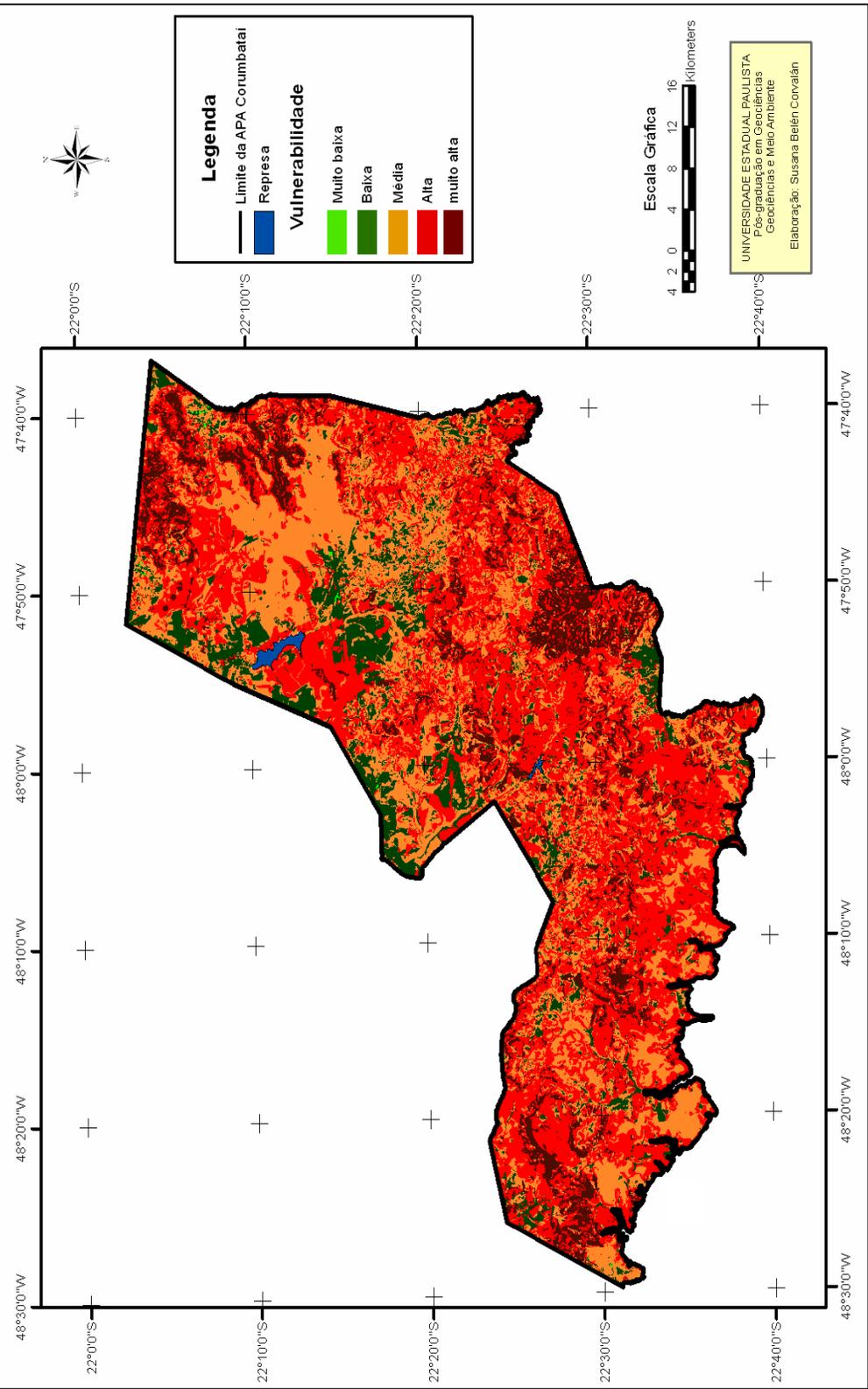


Figura 42 - Vulnerabilidade Ambiental da APA Corumbataí, com o fator Cobertura Vegetal assumindo maior importância e de valor igual a 0,30.

A Classe Média apresenta, em relação à cobertura vegetal, mata como elemento predominante (33%), seguido de pastagem (26%), e em menor proporção, cana e c. perene (13% cada uma). Os Latossolos Vermelho-Amarelo, classificados como de Média vulnerabilidade, estão presentes em 47% da área e são facilmente identificáveis no mapa no sul da APA, beirando a margem norte da Represa da Barra Bonita. Em muito menor proporção aparece o Neossolo Quartzarénico (15%). Geomorfologicamente, os valores mais expressivos são dados pelas classes Colinas Amplas, distribuída em 56% da APA, seguidos da classe Colinas Médias em 24% e Morrotes Elongados e Espigões em 11%. Com relação à declividade, 57% encontra-se em relevo suave (0-5%) e 25% em relevo moderadamente ondulado (5-12%). Quanto a litologia, a classe Form. Pirambóia predomina com 40%, seguindo a Form. Botucatu (32%). No que se refere à Distância dos Recursos Hídricos, 1% encontra-se em áreas de APPs de Nascentes (0-50m) e 24% em áreas de APPs30m (0-30m).

A classe Muito Alta apresenta-se, em forma de manchas irregulares, acompanhando áreas de serras, de alta declividade, em alguns setores da Serra do Itaqueri, no sul e no setor de escarpas ao norte da APA, como também ao nordeste da cidade de São Pedro. Quanto a Cobertura Vegetal, a classe apresenta 28% da área de solo nu, além de usos de baixa proteção ao solo, dado por cana de açúcar (30%) e cultura perene (29), valores que, por ter esse fator assumido maior importância, possibilitaram o enquadramento nesta classe. As declividades mais expressivas foram de 12-20%, ocupando 30% da área desta classe, e de 20-30%, ocupando 22% da área, ocorrendo assim as declividades maiores da região e de influência forte nos processos erosivos. Ocorrem na área solos erodíveis, representados pelos Neossolos Litólicos (24%), Argissolos Vermelho-Amarelo (17%), Neossolos Quartzarénico (16%), associados a relevo de Alta Vulnerabilidade, dos Morrotes Alongados e Espigões e Encostas Festonadas, presentes em 32% e 20%, respectivamente. Quanto a Geologia, predominam litologias de média resistência a erosão, dadas pela Formação Pirambóia (47%) e pela Formação Botucatu (16%). Em relação a Distância das nascentes, percebe-se que a porcentagem de área dentro da APP (5%) é maior que nas outras classes de Vulnerabilidade Ambiental; 10% da área ocorre em áreas de APPs 30m (0-30m).

Na classe Baixa, a maior influência para a baixa Vulnerabilidade Ambiental foi dada pela cobertura vegetal, com vegetação de porte arbóreo arbustivo e pela baixa declividade. Esta classe encontra-se distribuída, principalmente, na porção centro-oeste, nas adjacências da cidade de São Pedro e no sul, beirando alguns cursos de rios. Essa classe apresenta alta proteção contra a erosão do solo, pois em 61% ocorrem áreas de mata nativa e em 28% áreas

de Reflorestamento. Quanto aos solos, os Latossolos Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico são os solos mais expressivos, ambos com 33% cada um. Com relação à Geomorfologia, a classe Colinas Amplas é responsável por 69% da área, seguida de Colinas Médias, com 26%, ambas hierarquizadas como de baixa vulnerabilidade. Em Declividade, 76% da área encontra-se em relevo suave (0-5%). Geologicamente, as formações Botucatu e Pirambóia são responsáveis por 47% e 34% de ocorrência. Quanto a Distância dos Recursos Hídricos, 6% encontra-se em áreas de APPs30m enquanto não há presença dessa classe em áreas de APPs de Nascentes.

4.2. Fator Erodibilidade como fator de maior importância

Neste caso, o fator Erodibilidade recebeu maior peso, igual a 0,24. Os valores dos demais fatores encontram-se na Tabela 15.

Os intervalos utilizados no presente trabalho, para classificar o mapa de Vulnerabilidade Ambiental são apresentados na Tabela 16. Esses intervalos foram determinados pela distribuição, em área das classes de vulnerabilidade, conforme apresentada na Figura 43, na qual buscou-se uma curva que se aproximasse de um modelo gaussiano. Essa distribuição decorrente dos intervalos escolhidos privilegia a identificação das classes Alta e Muito Alta; isso se justifica pelo fato de que esse trabalho busca, efetivamente, assinalar as áreas de maior vulnerabilidade, já que nestas ocorrem a maior parte dos problemas decorrentes das atividades humanas.

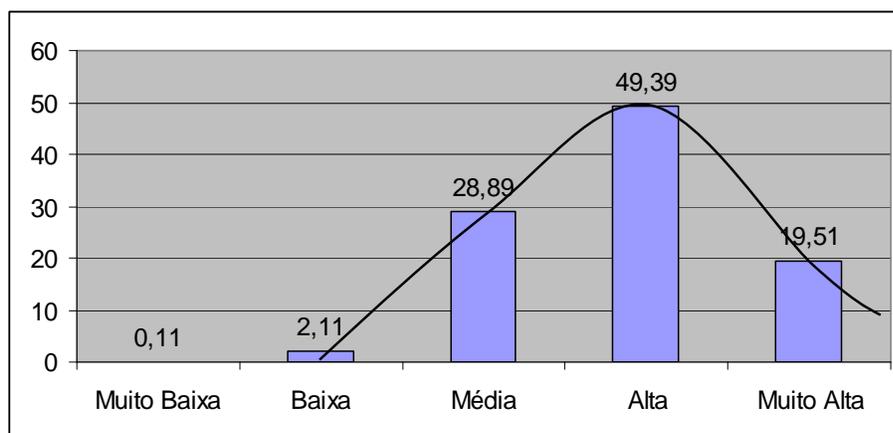
Na tabela 16, pode-se notar ainda que a amplitude dos intervalos (largura da faixa) das classes Muito Baixa e Muito Alta é de 1,337. Já os intervalos das classes Baixa, Média e Alta, a amplitude dos intervalos é 1,02. Adotou-se intervalos maiores nas bordas devido ao baixo número de *pixels* presentes nos valores extremos resultantes da Combinação Linear Ponderada.

Tabela 15 - Fatores de avaliação com seus respectivos pesos.

Fatores	Peso
Declividade	0,14
Erodibilidade	0,24
Geologia	0,11
Cobertura Vegetal	0,21
Geomorfologia	0,14
Distância das APPs30m	0,04
Distância das Nascentes	0,05
Distância das Represas	0,03
Distância das APPs50m	0,04

Tabela 16 - Valores dos intervalos redistribuídos e sua área de ocorrência na APA Corumbataí.

Valores dos Intervalos	Área (km ²)	%	Vulnerabilidade Ambiental
(1 - 2,337)	2,96	0,11	Muito Baixa
(2,337- 3,3557)	57,26	2,11	Baixa
(3,3557- 4,3744)	783,34	28,89	Média
(4,3744- 5,393)	1339,29	49,39	Alta
(5,393 - 7,73)	529,03	19,51	Muito Alta
TOTAL	2.711,89	100	

**Figura 43** - Distribuição das classes de Vulnerabilidade Ambiental

No resultando dessa análise, a classe Alta é a classe predominante, estendida por 1.340km², equivalente a 49,39%, seguida da classe Média que está representada por 28,89% (aprox. 783km²). Já a classe Muito Alta ocorre em 522 km² da APA, representada por 19,51%

na região e a classe Baixa totaliza apenas 2,11% (aprox. 57 km²), enquanto a classe Muito Baixa ocorre em forma imperceptível, em 0,11% (Figura 44).

Algumas considerações sobre a distribuição das classes podem ser feitas.

Devido ao fator Erodibilidade assumir maior importância, a classe Muito Alta está determinada principalmente pela ocorrência de solos mais susceptíveis à erosão, como o Neossolo Litólico de textura argilosa (28%) e Argissolos Vermelho-Amarelo textura arenosa/média (19%) e pode ser visualizada claramente acompanhando as faixas das Serras de Itaqueri, São Pedro, aos arredores da cidade do Corumbataí (no nordeste da APA) e na área central, a nordeste da cidade de São Pedro. Embora esta classe apresente litologia de vulnerabilidade média, representada pela formação Botucatu, encontra-se associada à Morrotes Alongados e Espigões (29%) e a Escarpas Festonadas (24%), inseridas em declividades forte ondulada (20-30%) a moderadamente ondulada (5-12%) com cobertura, principalmente, de cana de açúcar (36%) e c. perene (17%), culturas que oferecem baixa proteção ao solo contra o impacto das gotas de chuva. Quanto a Distância dos Recursos Hídricos, 3% encontra-se em área de APP de Nascentes (0-50m) e 48% em APPs30m (0-30m), evidenciando, portanto, a maior fragilidade das áreas próximo aos recursos hídricos.

A classe Alta está distribuída por todas as partes da APA Corumbataí, correspondendo a de maior expressão em área. É representada pelos solos Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média (29%) e Neossolo Quartzarênico (20%), onde 44% encontram-se associados a relevo suave (0-5%) e 30% a relevo moderadamente ondulado (5-12%). Quanto a litologia, 46% da área ocorre na form. Pirambóia e 22% em litologia menos resistente, da formação Itaqueri. Em relação à Geomorfologia, 41% da área apresenta Colinas Amplas e 29% Colinas Médias, com cobertura vegetal de baixa a média proteção, dado por cana de açúcar (30%), seguida de pastagem (22%). Quanto a Distância dos Recursos Hídricos, 9% encontra-se em APP de Nascentes (0-50m) e 31% em APPs30m (0-30M), evidenciando, portanto, alta fragilidade das áreas próximo aos recursos hídricos, embora menor quando comparada com a classe anterior (Classe Muito Alta).

A classe Média representa uma proporção de 28,89% da APA e está enquadrada nessa classe, principalmente, pela ocorrência de Latossolos Vermelho-Amarelo (51%), distribuída em pequenas manchas no sul da APA e na beira da represa, e em menor medida, pelo Neossolo Quartzarênico, na região de Itirapina e arredores. Distribuída em quase o 70% da área em relevo suave (0-5) e em litologias médias quanto a predisposição a erosão, dadas pelas formações Botucatu (40%) e Pirambóia (36%). Quanto a geomorfologia, a área encontra-se majoritariamente sobre Colinas Amplas (67%) e Colinas Médias (24%). Quanto a

Distância dos Recursos Hídricos, 3% encontra-se em áreas de APPs de Nascentes (0-50m), e 20% em áreas de APPs30m (0-30m).

Já a classe Baixa encontra-se distribuída de forma irregular em forma de manchas esparsas no centro norte e oeste da APA, onde há ocorrência de solos de média erodibilidade, representado, principalmente, pelos Latossolos Vermelho-Amarelo (65%), dos quais 84% encontram-se presentes em revelo suave (0-5%) e com cobertura do solo dado por vegetação de alta biodiversidade da mata nativa (53%) e por plantação homogênea do reflorestamento (40%), propiciando uma muito alta proteção contra a erosão hídrica, possibilitando que essas áreas possam ser enquadradas na classe Baixa. Quanto a litologia, a área encontra-se representada por rochas de mediana resistência, distribuídos em 60% na área da Form. Botucatu (60%) e 22% da Form. Pirambóia. Em relação à Geomorfologia, 60% da área encontra-se em Colinas Médias e 37% em Colinas Amplas, unidades geomorfológicas de baixa vulnerabilidade. Quanto a Distância dos Recursos Hídricos, 1% encontra-se entre 50-200m e o restante a mais de 350m das Nascentes e 15% das APPs30m (0-30m).

As Tabelas 17 e 18 apresentam um resumo das principais características encontradas nas cinco classes de Vulnerabilidade Ambiental, para os dois casos trabalhados.

Mapa de Vulnerabilidade Ambiental da APA Corumbataí assumindo maior importância o fator Erodibilidade

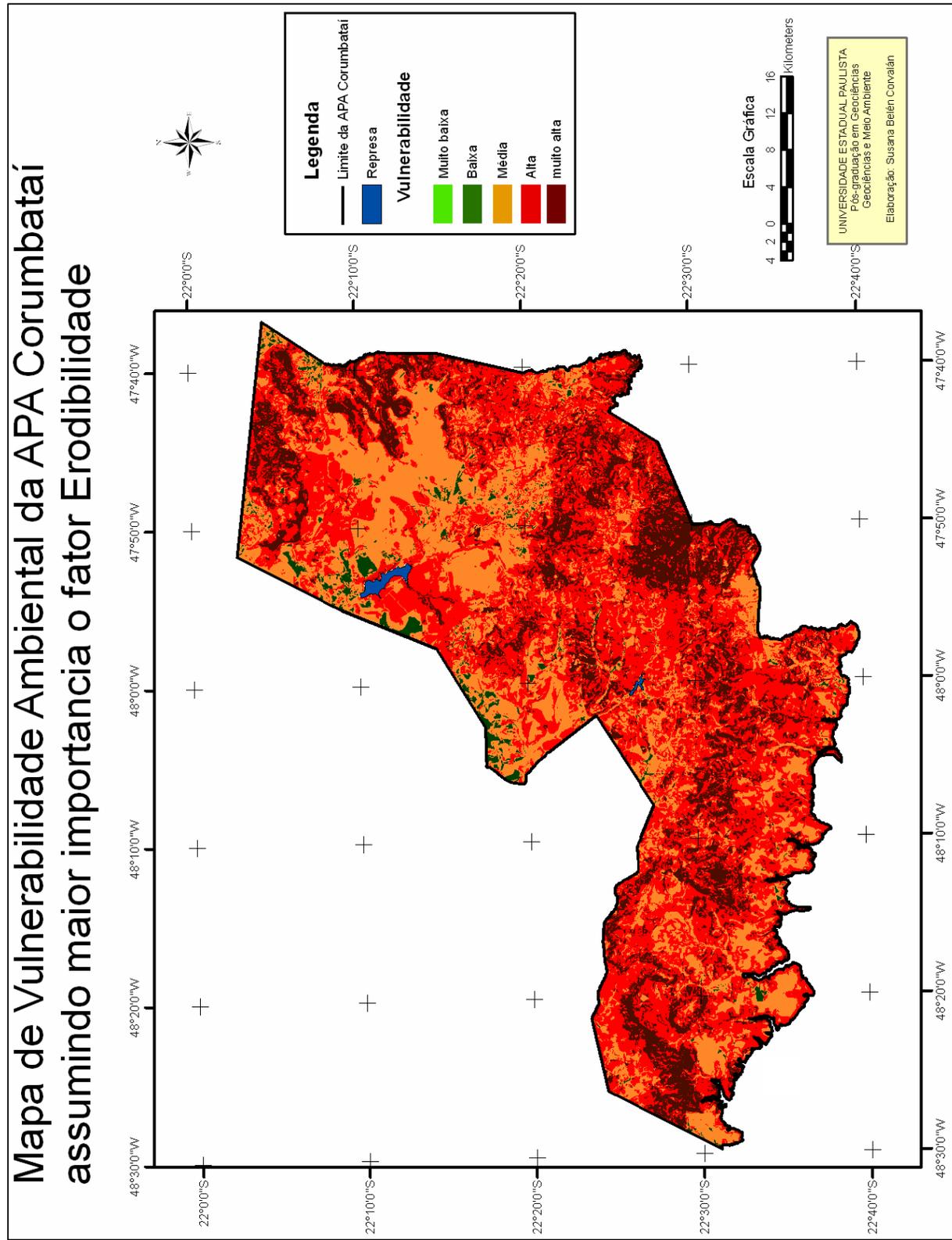


Figura 44 - Vulnerabilidade Ambiental da APA Corumbataí, com o fator Erodibilidade assumindo maior importância e de valor igual a 0,24.

Tabela 17 - Ocorrência dos fatores em cada classe de Vulnerabilidade Ambiental, no caso da Cobertura Vegetal assumir maior importância.

Classes de Vulnerabilidade	Cobertura Vegetal		Solos		Geomorf.		Declividade		Geologia		Distância das Nascentes		Distância das Represas		Distância das APPs50m		Distância das APPs30m	
	Classe	%	Classe	%	Classe	%	Classe	%	Classe	%	Classe	%	Classe	%	Classe	%	Classe	%
Baixa	Mata	61	LVA	33	CA	69	0-5	76	JKb	47	50-200m	2%	0-100m	1%	>350m	100%	0-30m	6%
	Reflorest	28	RQ	33	CM	26			Tr-JP	34	200-300m	4%	>400m	99%			30-180m	19%
Média	Mata	33															0-30m	24%
	Pastagem	26	LVA	47	CA	56	0-5	57	TrJP	40	0-50m	1%	100-250m	1%	>350m	100%	30-180m	12%
	Cana	13	RQ	15	CM	24	5-12	25	JKb	32	50-200m	6%	>400m	99%			180-280m	20%
	C. perene	13			MAE	11	12-20	12	KTi	15							>330m	22%
Alta	Cana	36	LVA	27	CA	40	0-5	42	TrJP	46	0-50m	2%	0-100m	2%	>350m	100%	0-30m	34%
	Pastagem	20	RQ	19	CM	17	5-12	29	KTi	21	50-200m	11%	100-250m	1%			30-180m	22%
	C. Perene	16	PVA	18	MAE	16			JKb	20	200-300m	10%	>400m	97%			>330m	25%
			RL	12														
Muito Alta	Cana	30	RL	24	MAE	32	12-20	30	TrJP	47	0-50m	5%			0-50m	1%		
	C. perene	29	PVA	17	EF	20	20-30	22	KTi	18	50-200m	20%	100-250m	1%	50-200m	1%	0-30m	10%
	S. exposto	28	RQ	16	CM	19	5-12	20	JKb	16	200-300m		>400m	99%	200-300m	1%	30-180m	42%
			LVA	14					JKsg	14	14%				>350m	98%		

RL=Neossolo Litólico, RQ=Neossolo Quartzarênico, LVA=Latossolo Vermelho-Amarelo, PVA=Argissolos Vermelho-Amarelo JKsg=Form. Serra geral, TRJp=Fom. Pirambóia, JKb=Fom. Botucatu, KTi=Form. Itaquerí
 CM=Colinas Médias, CA=Colinas Amplas, MAE=Morrotes Alongados e Espigões, EF=Encostas Festonadas

Tabela 18 - Ocorrência dos fatores em cada classe de Vulnerabilidade Ambiental, no caso da Erodibilidade assumir maior importância.

Classes de Vulnerabilidade	Solos		Cobertura Vegetal		Geomorf.		Declividade		Geologia		Distância das Nascentes		Distância das Represas		Distância das APPs50m		Distância das APPs30m	
	Classe	%	Classe	%	Classe	%	Classe	%	Classe	%	Nascentes	Represas	APPs50m	APPs30m				
Baixa	LVA	65	Mata	53	CM	60	0-5	84	JKb	60	0-50m 0%	>400m 100%	>350m 100%	0-30m 15%				
	LVdist	15	Reflorest	40	CA	37	5-12	13	TRJp	22	50-200m 1% >350m 96%			30-180m 5%				
Média	LVA	51	Mata	36	CA	67	0-5	69	JKb	40	0-50 3%	>400m 100%	>350m 100%	0-30m 20%				
	AQ	19	Pastagem	16	CM	24	5-12	23	TRJp	36		0-100m 1%		30-180m 10%				
Alta	LVA	29	Cana	30	CA	41	0-5	44	TRJp	46	0-50m 9%	100-250m 1%	>350m 100%	0-30m 31%				
	AQ	20	Pastagem	22	CM	29	5-12	30	KTi	22	>400m 98%			30-180m 18%				
Muito alta	RL	28	Cana	36	MAE	29	10-20	29	TRJp	48	0-50m 3%	0-100m 1%	0-50m 1%	0-30m 48%				
	PVA	19	C. perene	17	EF	24	5-12	20			50-200m 21%	100-250m 1%	50-200m 98%	30-180m 24%				

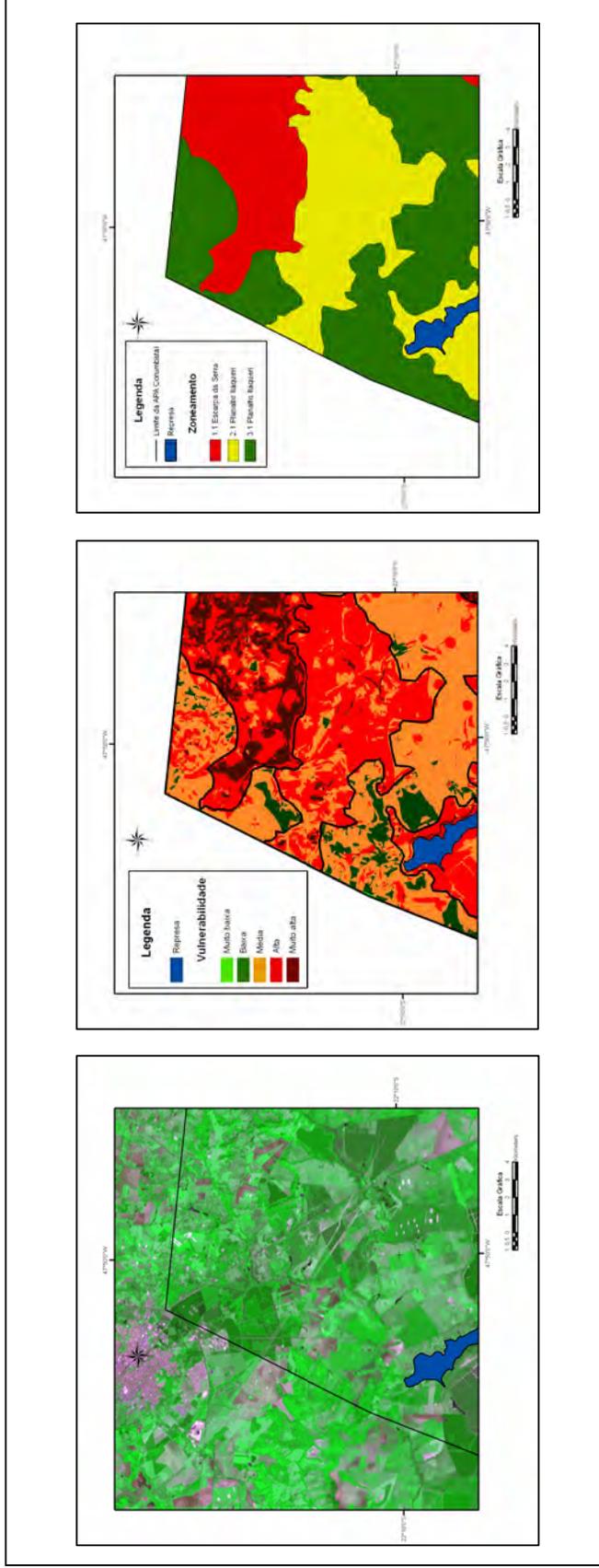
RL=Neossolo Litólico, RQ=Neossolo Quartzarênico, LVA=Latossolo Vermelho-Amarelo, PVA=Argissolos Vermelho-Amarelo
JKsg=Form. Serra geral, TRJp=Fom. Pirambóia, JKb=Fom. Botucatu, KTi=Form. Itaquerí
CM=Colinas Médias, CA=Colinas Amplas, MAE=Morretes Alongados e Espigões, EF=Encostas Festonadas

5.5 Proposta de Zoneamento Ambiental para a APA Corumbataí, de acordo com critérios de Vulnerabilidade Ambiental

O procedimento realizado para Zoneamento Ambiental da APA (conforme esquematizado na Figura 45), permitiu a compartimentação da área em três classes distintas de restrição quanto ao uso e ocupação do solo: Alta, Moderada e Baixa. A Figura 46 apresenta o mapa de Zoneamento Ambiental da APA Corumbataí quanto à restrição ao uso e ocupação do solo.

Entende-se, no presente trabalho, como uso e ocupação do solo toda e qualquer atividade desenvolvida pela humanidade, concentrada ou dispersa, seja agrícola, pastoril, industrial, comercial ou residencial, para fins de infra-estrutura ou que dê suporte aos meios necessários para a manutenção ou desenvolvimento da sociedade.

A seguir, são descritas e caracterizadas as zonas delimitadas na APA Corumbataí. Para cada zona de restrição ao uso e ocupação do solo definiram-se setores, os quais também são detalhados a seguir.



A.

B.

C.

Figura 45 - Etapas na elaboração do Zoneamento. A - Imagem CCD/CBERS-2, composição 342RGB. B - Delimitação de zonas de padrão similar de Vulnerabilidade Ambiental. C - Mapa final de Zoneamento Ambiental com as respectivas classes de restrição.

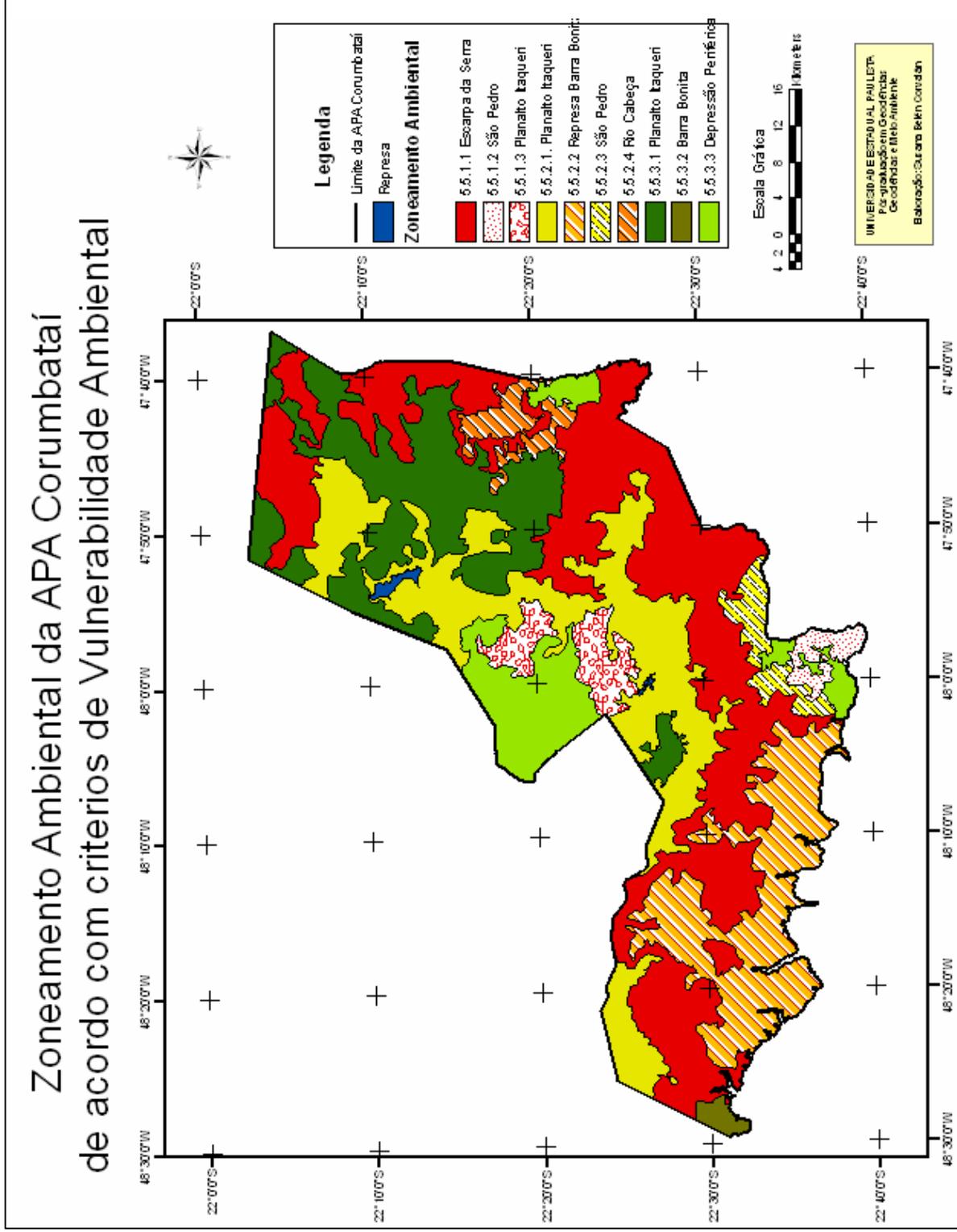


Figura 46 - Proposta de Zoneamento Ambiental da APA Corumbataí quanto à ocupação e uso do solo, de acordo com critérios de Vulnerabilidade Ambiental.

5.5.1. Classe: Alta Restrição ao Uso e Ocupação

Esta classe é a de maior expressão na APA, estando presente em 39% da área.

Para sua delimitação foram inseridas nesta classe, áreas com maior Vulnerabilidade Ambiental. Estatisticamente, 44,46% da área é constituída pela classe Muita Alta Vulnerabilidade, 50,27% pela classe Alta Vulnerabilidade, 5,15% pela classe Média Vulnerabilidade, 0,11% pela classe Baixa Vulnerabilidade e 0,01% da área pertencem a classe Muito Baixa Vulnerabilidade.

A classe Alta Restrição engloba 89,57% dos *pixels* relativos a classe Muito Alta Vulnerabilidade, 40,21% dos *pixels* relativos a Alta Vulnerabilidade, 7,03% dos *pixels* relativos a Média Vulnerabilidade, 2,03% dos *pixels* relativos a Baixa Vulnerabilidade e 12,1% dos *pixels* relativos a Muito Baixa Vulnerabilidade.

Nas áreas de Alta Restrição inserem-se as regiões mais susceptíveis a alteração dos fenômenos de dinâmica do meio físico, como descritas por Fornasari Filho et al. (1992). Embora se se encontra em equilíbrio dinâmico, qualquer alteração na forma ou nos processos superficiais podem favorecer o desencadeamento de processos erosivos de grandes proporções (e prejuízo), além de provocar mudanças na dinâmica dos processos de pedogênese e alteração intempérica, favorecendo a desagregação do material, portanto conclui-se que apresentam alta restrição ao uso e ocupação.

Eventuais usos e ocupação dessas áreas devem ser desenvolvidos baseados em planejamento estratégico, que leve em consideração a alta vulnerabilidade do meio, e devem ser precedidos de rigorosos estudos de impacto ambiental. Usos residenciais de baixa densidade, atividades de turismo e ecoturismo ou outras que proporcionem reflorestamento ou se adaptem à preservação integral ou majoritária da floresta são recomendados.

5.5.1.1 Setor: Escarpa da Serra

Este setor engloba porções de alta declividade das serras de Itaquerí, São Pedro e do Tabuleiro, localizadas ao sul da APA, e as escarpas do nordeste da região, além do sopé de serras e de partes altimetricamente inferiores à escarpa.

Caracteriza-se pela Formação Pirambóia e em menor expressão pelas formações Serra Geral, Botucatu e Itaqueri, em relevo de colinas amplas e Morrotes Alongados e Espigões e declividades medias a altas (>30%). Quanto a solos, apresenta valores expressivos de Neossolos Litólicos de textura argilosa, Argissolos Vermelho-Amarelo de textura arenosa/média e Neossolos Quartzarênicos.

Definem a alta restrição desse setor preponderantemente os fatores Erodibilidade Declividade e Geomorfologia.

Quanto à vegetação, caracteriza-se por apresentar cana de açúcar em 28% da área, localizada principalmente à margem esquerda do rio Passa Cinco, em áreas da depressão periférica (adjacentes ao cordão serrano do sul) e ao nordeste da cidade de São Pedro. Em área de escarpa, caracteriza-se por manter boa parte da vegetação arbórea, representada pela mata (24%), além de pastagem (19%) em proximidades de Ipeúna e no sopé da escarpa.

Esse setor é vital para a APA, pois localizam-se aqui a maioria das cachoeiras e atrativos naturais que dão suporte ao ecoturismo na região. A alta declividade, até o momento, foi o maior obstáculo natural ao uso e ocupação pelas atividades humanas.

Em função da presença de solos erodíveis, das altas declividade e do deflúvio que essas terras apresentam, os problemas relacionados a perda de solos por erosão são maiores, quando comparadas com os outros setores.

Recomenda-se a proteção integral desse setor, pelo valor ecoturístico, pela existência de importantes nascentes, pela força da lei 4771 do Código Florestal Brasileiro, que estabelece a proteção de áreas ao redor de nascentes e áreas com mais de 45% de declividade.

Nesse contexto, recomendam-se ações de recomposição florística, atividades de recuperação de áreas degradadas pela erosão, atividades de pesquisa ambientais e turismo ecológico.

5.5.1.2 Setor: São Pedro

Este setor engloba porções de Latossolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico, em rochas da Formação Pirambóia (arenitos, por vezes alterados), em relevo de Morrotes Alongados e Espigões e baixas declividades (de até 12%).

Caracteriza-se pela agricultura, especificamente de cana de açúcar, totalizando mais de 50% da área, mata nativa (25%) e em muito menor proporção (11%) o uso de diversificadas culturas anuais em pequenos lotes.

Definem a alta restrição desse setor, os fatores Erodibilidade, Geomorfologia e Cobertura Vegetal.

Nesse setor deve-se proceder com estudos de detalhe que visem o ordenamento, rodízio e a adequação das culturas às condições de Muito Alta Vulnerabilidade do meio, bem como a definição de um percentual máximo para desmatamento dos lotes.]

5.5.1.3 Setor: Planalto Itaqueri

Este setor é formado por dois polígonos que se localizam no alto da Serra, com porções da escarpa da Serra do Itaqueri nas vertentes norte e oeste, onde afloram os arenitos das Formações Itaqueri, Pirambóia e Botucatu sobre Morrotes Alongados e Espigões e Escarpas Festonadas. Caracterizam-se pelo predomínio de declividades menores que 20% no alto da serra e na escarpa predominam declividades maiores que 45%. Predominam também Argissolos Vermelho-Amarelo de textura média, Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Litólicos.

Nesse setor, caracteriza-se por apresentar, no polígono ao sul, uma extensa área de solo exposto (11%), cana de açúcar (29%) e mata arbórea (24%). Enquanto no polígono ao norte, apresenta principalmente pasto (19%) e pequenos lotes com culturas anuais (8%).

Definem a alta restrição desse setor, preponderantemente, os fatores Erodibilidade, Geomorfologia e Cobertura Vegetal.

No alto da serra deve-se proceder com estudos de detalhe que visem o ordenamento, a definição de técnicas de manejo e a adequação das culturas às condições de Muito Alta Vulnerabilidade do meio, bem como a definição de um percentual máximo para desmatamento dos lotes. Na escarpa recomenda-se a proteção integral do ambiente, pelo valor ecoturístico, pela existência de importantes nascentes, pela força da lei 4771 do Código Florestal Brasileiro, que obriga a proteção de áreas ao redor de nascentes e áreas com mais de 45% de declividade. Recomendam-se atividades de recuperação de áreas degradadas e ações de recomposição florística, principalmente em zonas de solo exposto.

5.5.2. Classe: Moderada restrição ao Uso e Ocupação

Representada em 37% da área, esta classe é a segunda em maior proporção dentro da APA.

Foram inseridas, nessa classe para a sua delimitação, as áreas com Média a Alta Vulnerabilidade Ambiental. Estatisticamente, 5,14% da área pertence a Muita Alta Vulnerabilidade Ambiental, 65,12% da área a Alta Vulnerabilidade Ambiental, 29,27% a Média Vulnerabilidade Ambiental, 0,45% a Baixa Vulnerabilidade Ambiental e 0,03% da área pertence a Muito Baixa Vulnerabilidade Ambiental.

A Classe Moderada Restrição engloba 9,56% dos *pixels* relativos à classe Muito Alta Vulnerabilidade, 48,03% dos *pixels* relativos à Alta Vulnerabilidade, 37,08% dos *pixels* relativos à Média Vulnerabilidade, 7,91% dos *pixels* relativos à Baixa Vulnerabilidade e 19,4% dos *pixels* relativos à Muito Baixa Vulnerabilidade.

Nessa classe inserem-se áreas susceptíveis a alteração dos fenômenos de dinâmica do meio físico, como descritas por Fornasari Filho et al. (1992). De forma menos severa que a classe “alta”, mas alterações na forma ou nos processos superficiais podem desencadear processos erosivos concentrados, portanto apresentam moderada restrição ao uso e ocupação.

O uso e ocupação dessas áreas deve ser baseado em planejamentos e desenvolvimento sustentável, através de medidas preservacionistas do uso do solo, e de medidas de conservação ambiental, levando em consideração a média a alta vulnerabilidade do meio. O uso deverá ser precedido de estudos detalhados de impacto ambiental, onde recomenda-se a preferência por usos urbanos de média densidade, industriais de baixo poder de contaminação, atividades de turismo e recreação ou outras que não provoquem mudanças significativas na paisagem.

5.5.2.1 Setor: Planalto Itaquerí

Este setor engloba o planalto da Serra de Itaqueri, que se estende até a represa do Broa e adjacências. Caracteriza-se pelo afloramento dos arenitos da Formação Itaquerí e rochas da formação Botucatu, relevo de Colinas Amplas a Colinas Médias, Latossolos Vermelho-Amarelo de textura média e Neossolos Quartzarénicos, com predomínio de declividades menores que 12%.

Os baixos valores dos fatores Geomorfologia e Declividade são compensados pelos altos valores dos fatores Erodibilidade, Geologia, e Cobertura Vegetal, uma vez que contribuem para a Alta Vulnerabilidade da classe.

O uso nessa classe é extremamente diversificado, com fruticultura (exemplo de cultura perene), principalmente laranja ao norte e ao redor da cidade de Itirapina (cobrindo 22% da área deste Setor), cana de açúcar (21% da área deste Setor), pasto (19% da área deste Setor), trechos de mata nativa (16% da área deste Setor), culturas anuais (9% da área deste Setor), e reflorestamento (ocorrendo em 6% da área deste Setor).

Nesse setor deve-se proceder com estudos que visem o aprimoramento das técnicas de manejo agrícola, bem como a definição de um percentual máximo para desmatamento dos lotes, no entanto menor que das áreas de alta restrição. Áreas de expansão urbana podem ser projetadas nesse setor dado o relevo suave, as condições de drenagem e a vista panorâmica dada pela escarpa da serra. Atividades ligadas ao turismo vem sendo realizadas na represa do Broa, áreas loteadas nas adjacências, e na represa do rio Jacaré-Pepira, ambas com alto potencial turístico. Uso residencial e chácaras de recreio são recomendadas.

Esse setor configura-se como uma importante área de recarga dos aquíferos regionais devido à permeabilidade do substrato e a sua posição altimétrica.

Nesse setor, ocorrem as principais nascentes do alto da serra que, pelo exposto na lei 4.771 do Código Florestal Brasileiro, devem ser protegidas integralmente. Essas nascentes têm importância especial, pois alimentam os principais rios da região, entre eles o Rio Jacaré-Pepira.

5.5.2.2 Setor: Represa Barra Bonita

Situa-se ao norte da beira da represa de Barra Bonita, onde ocorrem os arenitos da Formação Pirambóia, em um relevo de Colinas Amplas e com o predomínio de declividades menores que 12%. Nos topos das colinas ocorrem Latossolos Vermelho-Amarelo de textura média e na parte baixa das colinas afloram os Argissolos Vermelho-Amarelo, de textura arenosa a média.

Os fatores Geologia e Erodibilidade contribuem para a Alta Vulnerabilidade Ambiental, no entanto fatores como Geomorfologia e Declividade contribuem com valores baixos de vulnerabilidade, compensando-os.

Este Setor caracteriza-se, principalmente, por canaviais, chegando à ocorrência dessa cultura a beirar a Represa da Barra Bonita, denotando ausência total de mata nativa que, pelo exposto na lei 4.771 do Código Florestal Brasileiro, deveria cobrir 100m a partir da beira da represa. O pasto (que cobre 16% da área deste Setor) se encontra, principalmente, no sopé da escarpa e beirando a represa de Barra Bonita; há presença de mata ciliar em 16% da área deste Setor e de manchas de culturas anuais em pequenos lotes (11% da área deste Setor).

Nesse setor deve-se proceder a estudos que visem o aprimoramento das técnicas de manejo agrícola, bem como a definição de um percentual máximo para desmatamento dos lotes, no entanto menor que das áreas de alta restrição. Este setor configura-se apropriado para a agricultura pela disponibilidade de água para irrigação vinda da represa, mas com técnicas apropriadas de manejo e conservação, evitando assim as lavouras chegarem a poucos metros da água, o que acontece na atualidade. Sugerem ações e estratégias de recomposição da mata ciliar, programas ambientais de plantação de mudas de árvores nativas, entre outras. Pela beleza cênica, este setor se configura como cenário de atividades de recreação.

5.5.2.3 Setor: São Pedro

Engloba a própria área urbana de São Pedro e adjacências. Ocorrem os arenitos da Formação Pirambóia, em um relevo de Colinas Médias a Colinas Amplas, com solos granulares quartzosos (Neossolo Quartzarênico) em maior proporção, seguido de Latossolos

Vermelho-Amarelos e Argissolos Vermelho, e, com o predomínio de declividades menores que 12%.

Os fatores Geologia e Erodibilidade contribuem para a Alta Vulnerabilidade, no entanto fatores como Geomorfologia e Declividade contribuem para Baixa Vulnerabilidade.

Caracteriza-se também pela predominância de cana de açúcar (cobrindo 42% da área do Setor), com menor expressão há trechos de mata ciliar (20% da área do Setor) e área de pastagem (11%). A área urbana da cidade de São Pedro representa 20% da área deste Setor.

Deve-se proceder com estudos que visem o aprimoramento das técnicas de manejo agrícola, bem como a definição de um percentual máximo para desmatamento dos lotes, no entanto menor que das áreas de alta restrição.

A agricultura e a ocupação urbana nesse setor já sofreram muitos prejuízos pelo avanço de feições erosivas de dimensões decamétricas na forma de voçorocas. Nesse contexto, o desenvolvimento de atividades humanas deve ser efetuado com um planejamento que considere essa vulnerabilidade natural do meio.

5.5.2.4 Setor: Rio Cabeça

Abrange uma área a oeste do Rio Cabeça e adjacências. Ocorrem os arenitos da Formação Pirambóia, em um relevo de Morrotes Alongados e Espigões ao centro, Colinas Amplas ao norte e Colinas Médias ao sul, com Argissolos Vermelho-Amarelo de textura média a arenosa, Neossolo Litólico e solos granulares quartzosos (Neossolo Quartzarênico) e com o predomínio de declividades menores que 20%.

Caracteriza-se pelo uso, principalmente, de pasto para pecuária (cobrindo 55% da área deste Setor), trechos de mata ciliar (26% da área deste Setor) e com menor expressão manchas esparsas de cerrado (10% da área deste Setor).

Nesse Setor deve-se proceder com estudos que visem o aprimoramento das técnicas de manejo agrícola, bem como a definição de um percentual máximo para desmatamento dos lotes, no entanto menor que das áreas de alta restrição.

5.5.3 Classe: Baixa Restrição ao Uso e Ocupação

Esta classe é a de menor expressão, ocorrendo em 24% da APA.

Para sua delimitação, nesta classe foram inseridas as áreas com menor Vulnerabilidade Ambiental. Estatisticamente 0,70% da área pertence a Muita Alta Vulnerabilidade Ambiental, 24,17% da área a Alta Vulnerabilidade Ambiental, 67,20% da área a Média Vulnerabilidade

Ambiental, 7,79% da área a Baixa Vulnerabilidade Ambiental e 0,14% da área pertence a Muito Baixa Vulnerabilidade Ambiental.

A Classe Baixa Restrição engloba 0,9% dos *pixels* relativos à classe Muito Alta Vulnerabilidade, 11,76% dos *pixels* relativos à Alta Vulnerabilidade, 55,89% dos *pixels* relativos à Média Vulnerabilidade, 95,13% dos *pixels* relativos à Baixa Vulnerabilidade e 68,13% dos *pixels* relativos à Muito Baixa Vulnerabilidade.

Nessa classe inserem-se áreas pouco susceptíveis a alteração dos fenômenos de dinâmica do meio físico, como descritas por Fornasari Filho et al. (1992). De forma apenas localizada, alterações na forma ou nos processos superficiais podem desencadear processos erosivos, apresentando por tanto baixa restrição ao uso e ocupação. Não espera-se nessa classe a ocorrência de graves problemas erosivos ou de alteração dos processos de dinâmica superficial e sub-superficial.

O uso e ocupação dessas áreas podem ser mais permissivos, desde que sejam adotadas medidas preventivas de conservação ambiental, vinculados a um planejamento que leve em consideração a vulnerabilidade do meio. Nesse contexto, há viabilidade de expansão controlada das atividades, uma vez que essas áreas encontram-se intensamente ocupadas com atividades principalmente de cana de açúcar e pastagem. Essa expansão deve visar, principalmente, o favorecimento da comunidade local.

Estudos de detalhe dentro de cada uma dessas áreas poderão direcionar o uso e a ocupação racional da mesma, dentro de critérios técnicos e científicos que satisfaçam a legislação ambiental e os interesses do desenvolvimento da sociedade.

5.5.3.1 Setor: Planalto Itaqueri

Engloba a parte alta da Serra, a área urbana de Itirapina e adjacências, com algumas porções no sopé (parte baixa) da serra, principalmente ao extremo norte da APA. Ocorrem os arenitos da Formação Botucatu e Pirambóia, em um relevo de Colinas Amplas e em menor proporção Colinas Amplas, com ocorrência de Latossolos Vermelho-Amarelo de textura média e Neossolos Quartzarênicos. No trecho norte desse setor predominam declividades menores que 5% (associadas à Formação Botucatu), já ao sul predominam as menores que 12% (associadas à Formação Pirambóia).

Definem a baixa restrição desse setor preponderantemente os fatores Declividade, Geomorfologia e Cobertura Vegetal.

Quanto ao uso, a cultura perene encontra-se representada na região, principalmente, pela citricultura, localizada nas adjacências e norte de Itirapina (cobrindo 28% da área deste

Setor), trechos de mata (19% da área deste Setor) e reflorestamento (18% da área deste Setor), representado pela silvicultura de *Eucalyptus* (RIPASA), havendo também a área urbana da cidade de Itirapina, representada em 2% da área deste Setor.

Configura-se como a área mais apropriada à ocupação urbana na área de estudo, seja pela baixa restrição encontrada como pelas características climáticas (temperaturas mais amenas), pela paisagem do alto da serra, pelo relevo suave e pelas condições de drenagem. Um planejamento de detalhe poderia gerar um plano diretor para ocupação racional da área.

Esse setor também configura-se como uma importante área de recarga dos aquíferos regionais dada a porosidade e permeabilidade do substrato e a sua posição altimétrica.

Nesse setor ocorrem importantes nascentes que, pela força da lei 4771 do Código Florestal Brasileiro, devem ser protegidas integralmente. Essas nascentes têm importância especial, pois alimentam os principais rios da região, como o Jacaré-Pepira e são as cabeceiras do rio Piracicaba.

5.5.3.2 Setor: Barra Bonita

Pequeno setor localizado no extremo sudoeste da APA, às margens da represa de Barra Bonita. Predominam declividades menores que 5%, com afloramento dos basaltos da Formação Serra Geral, relevo de Colinas Amplas e ocorrência de Latossolos Vermelho-Amarelo de textura média.

Definem a baixa restrição desse setor preponderantemente os fatores Declividade, Geologia e Geomorfologia.

Predomina uso e cobertura da Terra de agricultura, representado pela cana de açúcar (cobrindo 60% da área deste Setor), e em menor expressão (11% da área deste Setor) pequenas áreas isoladas de mata na beira da represa e trechos de rios.

Esse setor configura-se muito apropriado para a agricultura pela disponibilidade de água para irrigação vinda da represa. Na borda da represa, pela força da lei 4771 do Código Florestal Brasileiro, a vegetação deve ser protegida integralmente e/ou recomposta.

5.5.3.3 Setor: Depressão Periférica

Tratam-se de polígonos altimetricamente localizados abaixo da serra, dois ao sul da serra, próximos à cidade de São Pedro e um a noroeste da serra próximo à cidade de Brotas, por onde corta o rio Jacaré-Pepira.

Nesse setor afloram os arenitos da Formação Pirambóia e Botucatu, com relevo de Colinas Amplas e Colinas Médias, Morrotes Alongados e Espigões e planície aluvial nas

margens do rio Jacaré-Pepira. Predominam os Latossolos Vermelho-Amarelo de textura média e Neossolos Quartzarênicos, em declividades abaixo de 12%.

Quanto ao uso e cobertura da Terra encontra-se mata em 39% da área deste Setor, localizada principalmente na margem do Jacaré-Pepira, pastagem (cobrindo 23% da área deste Setor) e reflorestamento (12% da área deste Setor), localizado no norte do maior polígono, à beira da Rodovia SP-225.

Definem a baixa restrição desse setor os fatores Cobertura Vegetal, Declividade e Geomorfologia.

Esse setor configura-se muito apropriado para desenvolvimento de atividades industriais, já que os rios possuem um caudal maior e, portanto maior poder de depuração. Atividades de agricultura e reflorestamento também são indicadas devido à abundância de água superficial e subterrânea. O relevo suave também permite a instalação de áreas urbanas.

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Secretaria de Estado de Meio Ambiente realizou diversos estudos multidisciplinares na área da APA Corumbataí, no entanto não se teve acesso a nenhum deles, portanto, nota-se uma deficiência de informações sobre a APA Corumbataí no que se refere a mapas temáticos e também no acompanhamento da dinâmica do uso e cobertura da Terra na APA.

O levantamento dos dados cartográficos e de variáveis físicas existentes sobre a APA Corumbataí permitiu a caracterização ambiental da região. Os dados que não se encontravam em escala adequada para a realização desse trabalho foram adaptados e reinterpretados, baseado em imagens de satélite.

Com respeito à classificação supervisionada (utilizando algoritmo *Isoseg*), aplicada neste trabalho para a obtenção do mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal é importante ressaltar a limitação do mesmo quanto a discriminação satisfatória das diferentes classes, o que se pôde observar nos vários testes realizados.

A metodologia utilizada, associada com o SIG mostrou-se flexível, permitindo a inclusão de dados complementares e a re-avaliação das informações temáticas e dos critérios utilizados, auxiliando no processo de tomada de decisão.

As possibilidades de inter-relações entre o mapa de Vulnerabilidade Ambiental gerado e outras informações são inúmeras, fornecendo resultados espacializados e georreferenciados. Dessa maneira, o mapa de Vulnerabilidade Ambiental configura-se como sendo uma ferramenta importante e útil ao apoio à decisão. Em ambiente SIG ainda é passível de revisão

e incorporação a qualquer momento de novas variáveis, conferindo grande agilidade e potencialidade de aplicação em processos de tomada à decisão.

O uso de geotecnologias permite a coleta, armazenamento, transporte, tratamento/processamento dos dados, edição, análise integrada das informações e a produção de mapas e informações descritivas. Essas possibilidades auxiliaram sobremaneira e permitiram a elaboração do presente trabalho como apresentado agora.

As imagens CCD/CBERS-2 apresentam resolução espacial compatível com o objetivo e com a escala do mapeamento (1:100.000), apresentam também resolução espectral e radiométrica compatíveis com o objeto de estudo e fornecem valiosas informações acerca do uso e cobertura da Terra na área da APA.

O ajuste dos mapas de: Geologia, Pedologia e Geomorfologia não teve o objetivo de produzir novos mapas, mas sim de compatibilizar as diferentes escalas em que esses mapas se encontravam com a escala de análise adotada (1:100.000), em uma mesma base cartográfica georreferenciada (UTM/Córrego Alegre) a partir de imagens CCD/CBERS-2.

A análise dos padrões de imagem no Mapa de Vulnerabilidade Ambiental possibilitou a compartimentação do território da APA em zonas homólogas, e, portanto, agrupáveis para fins de mapeamento, gerando uma proposta de Zoneamento Ambiental quanto ao uso e ocupação do solo da APA Corumbataí.

Os procedimentos utilizados mostraram-se confiáveis no bojo do trabalho. As técnicas são de fácil execução e passíveis de repetição, mostrando-se viáveis de serem executadas por equipes especializadas no planejamento de outras APAs, em território nacional e mesmo estrangeiro.

7 – CONCLUSÕES

O Zoneamento Ambiental da APA configura-se como uma importante ferramenta que pode subsidiar o planejamento estratégico da APA, auxiliando os tomadores de decisão (gestores, órgãos executores, financiadores e fiscalizadores, entre outros).

O diagnóstico das APPs dentro da área de estudo permite inferir sobre a grande devastação e deterioração a que vem sendo submetida, a maioria decorrente dos usos inapropriados na região, dado, principalmente, pelo cultivo de cana de açúcar e pela pecuária extensiva. Devido à dificuldade de acesso, as APPs de encostas são as melhor preservadas.

O procedimento adotado (trabalho de campo associado ao mapeamento semi-automático do uso e cobertura da Terra em ambiente SIG), apesar das limitações intrínsecas ao método e aos materiais utilizados, mostrou-se de elevado valor para o presente trabalho, permitindo um mapeamento confiável para a escala de análise não obstante o tamanho da área a ser mapeada (2.727 Km²). A elaboração dos mapas de Vulnerabilidade Ambiental, por meio da aplicação do método “Combinação Linear Ponderada” (análise multicritério), mostrou-se eficiente uma vez que permitiu a identificação de áreas mais vulneráveis, portanto configurando-se como uma ferramenta de análise do meio ambiente, na definição de áreas mais adequadas ao desenvolvimento de projetos específicos e na priorização dos ambientes que precisam ser protegidos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim Instituto Geográfico e Geológico, 41, p. 169-263, 1964.**

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.** Campinas: Instituto Agrônomo, 1981. Mapa, color, Escala 1:100.000.

ALMEIDA, F. F. M. et al. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo.** Escala 1:500.000. São Paulo: IPT, 1981. 124p. (Monografia 6).

AMORIM, G. M.. **Construção de um sistema de informações geo-referenciadas sobre geoturismo na bacia hidrográfica do Rio Corumbataí - SP.** Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Rio Claro. 167 f. 2005.

ANALÂNDIA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Anal%C3%A2ndia>>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008

ANDERSEN, L.J.; GOSK, J. Applicability of vulnerability maps. TNO Committee for Hydrological Research: Proceeding and Information. The Netherlands. 1987, v 38, p. 321-332.

ANTONELLO, S. L.; PINTO, S. A. F. **Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Rio Corumbataí.** Disponível em: <<http://ceapla.rc.unesp.br/atlas/atlas.html>>. Acesso em: 02 de Março. 2009.

BARRA bonita. Disponível em:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Barra_Bonita_%28S%C3%A3o_Paulo%29>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

BERRY, J. K. Cartographic modelling: the analytical capabilities of GIS. **In:** GOODCHILD, M.; PARKS, B.; STEYAERT, L. Environmental modelling with GIS. Oxford:Oxford University Press, 1993. p. 58-74.

BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo:Icone, 1990. 355p.

BJÖRNBERG, A. J. S. & LANDIM, P. M. B. Contribuição ao estudo da formação Rio Claro (Neocenoico). **Boletim Sociedade Brasileira de Geologia**. São Paulo, v. 15, n. 4, p. 43-67, 1966.

BORGES, K. A. V. **Modelagem de dados geográficos - uma extensão do modelo OMT para aplicações geográficas**. Belo Horizonte. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) - Escola do Governo de Minas Gerais, Fundação João Pinheiro, 1997.

BRASIL. CONAMA. Resoluções do CONAMA Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_302.pdf>. Acesso em: 13 de Abr de 2009.

BRASIL. CONAMA Resoluções do CONAMA. Disponível em: >http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/resolucoes/2002_Res_CONAMA_303.pdf>. Acesso em: 13 de Abr de 2009.

BROTAS. Disponível em:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Brotas_%28S%C3%A3o_Paulo%29>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

BUENO, C.R.P. **Zoneamento da suscetibilidade à erosão dos solos da Alta e Média Bacia do Rio Jacaré-Pepira, com vistas ao planejamento ambiental**. 1994. 137 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 1994.

BURROUGH, P.A., MCDONNELL, R. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press, 1986. 333 p.

CAETANO, N. R. **Procedimentos metodológicos para o planejamento de obras e usos: uma abordagem geotécnica e geoambiental**. 2006. 163f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.

CAFISO, S.; GRAZIANO A. D.; KERALI, H.; ODOKI, G. **Multicriteria analysis method for pavement maintenance management**. Transportation Reserarch Record, n.1816, p.73-84, 2002.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. Conceitos Básicos da Ciência da Geoinformação. **In:** Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.V. Introdução à Ciência da Geoinformação. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap2-conceitos.pdf>> Acesso em: Fev. 2008.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. Análise Espacial e Geoprocessamento. In: Druck, S.; Carvalho, M.S.; Câmara, G.; Monteiro, A.V.M. Análise Espacial de Dados Geográficos. Disponível em:

< <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/análise/index.html>>. Acesso em: Fev. 2008.

CAMARGO, J. C. G. **Estudo biogeográfico comparativo de uma área de mata natural de encosta e de uma área reflorestada no Estado de São Paulo, Rio Claro, SP.** 1988. 484f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro, 1988.

CAMARGO, E.; FUKS, S.D.; MONTEIRO, A.M.V. Análise de Superfícies por Geoestatística. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.V. Análise espacial de dados geográficos. [on line]. <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>. Acesso em: Fev. 2008.

CAMARGO, R. S. Regulamentação da APA Corumbataí-SP. In TAUK, S. M.; GOBBI, N.; FOWLER, H. G. (org). Análise Ambiental: uma visão multidisciplinar. São Paulo: Editora Unesp, p.104-107, 1991.

CAVASSAN, O. **Florística e fitossociologia da vegetação lenhosa em um hectare de cerrado no Parque Ecológico Municipal de Bauru (SP).** Campinas. Tese (Doutorado). Instituto de Biologia, UNICAMP, 1990.

CEPAGRI. Centro de pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura. Disponível em < <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.htm> >. Acesso em: 12 de Maio 2008.

CHARQUEADA. Disponível em:

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Charqueada_%28S%C3%A3o_Paulo%29>. Acesso em: 17 de Jul. De 2008.

CHEN, K. P.; BLONG, R.; JACOBSON, C. MCE-RISK: Integrating multicriterial evaluation and GIS for risk decision-making in natural hazards. **Environmental Modelling & Software**, v.16, n.4, p.387-397, 2001.

CORDEIRO, J.P.; BARBOSA, C. C. F., CÂMARA, G. ÁLGEBRA DE CAMPOS E OBJETOS. IN: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. Introdução à Ciência da Geoinformação. [on line].< <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap8-algebra.pdf>> Acesso em: Fev. 2008.

CORUMBATAÍ. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Corumbata%C3%AD>>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

CORVALAN, S. B. **Levantamento e caracterização dos atrativos naturais da bacia do rio Passa-Cinco, através de Geoprocessamento.** 2005. 118f. Dissertação (Mestrado em Geociências). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.

COWEN, D.J. GIS versus CAD versus CBMS What are the differences? **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 54, n. p. 1551-1554, 1988.

COZZUOL, M.G.T & LIMA R.N. Análise da sensibilidade física da Área de Proteção

Ambiental do Gioapaba-Açú (Fundão-ES): subsídios ao Zoneamento Ambiental. **Natureza on line** 1(1):28-36. 2003. [online] [HTTP://www.naturezaonline.com.br](http://www.naturezaonline.com.br).

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao Zoneamento ecológico econômico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científicas. 1 CD-ROM.

CRISÓSTOMO NETO, A. P. **Mapeamento geoambiental por imagem de satélite do Vale do Paraíba**. 2002. 196 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de G

DONHA, A. G. et al. Avaliação da metodologia na geração dos mapas de Fragilidade Ambiental em uma área piloto na APA do IRAÍ. In: Seminário do Projeto Interdisciplinar sobre Eutrofização de Águas de Abastecimento Público na Bacia do Altíssimo Iguaçu, IV, 2003, Curitiba-PR.

DONHA, A. G. et al. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 10, n.1, p.175–181, Oct. 2006.

DOIS CÓRREGOS. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Dois_corregos>. Acesso em 17 de Jul. de 2008.

DURIGAN, G.; da SILVEIRA, E. R. Recomposição da mata ciliar em domínio de cerrado, Assis, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 135-144, dez. 1999.

EASTMAN, R., JIN, W., KYEM, P. A. K., TOLEDANO, J. Raster procedures for multi-criteria/multi-objective decisions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **Bethesda**, v.61, n.5, p.539-547, 1995.

EASTMAN, J. R. IDRISI for Windows. Manual do Usuário, versão digital. Introdução. Exercícios Tutoriais. Versão em Português. Massachusetts: Clark University Graduate School of Geography, 1997. 224p

EASTMAN, J. R. Idrisi for Windows, Version 2.0. Tutorial exercises. Worcester: Clark University, 1997. p93.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image procession, Worcester: Clark Labs, Clark University, 2001. v.2, 22p.

EASTMAN, J. R.; KYEM, P. A. K.; TOLEDANO, J. **GIS and decision making**. Genebra:UNITAR, 1993. 112p (Explorations in Geographic Information System Technology).

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária . Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412p.

FERNANDES NOBRE, M. **O Zoneamento Ecológico-Econômico como instrumento de Planejamento e Gestão Ambiental: uma proposta para a Bacia Hidrográfica do Rio**

Corumbataí (SP). 2008. 249f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 19 Set 2008.

FORNASARI FILHO, N.; BRAGA, T.DEO.; GALVES, M.L.; BITAR, O.Y.; AMARANTE, A. **Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia.** São Paulo: IPT. Boletim 61. 165p. 1992.

FULFARO, V. J & SUGUIO, K. O Cenozóico Paulista: gênese e idade. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre:SBG, 1974, v.1, p.91-101.

GARCIA, L. B. R. Ocupação e desenvolvimento econômico da Bacia do Corumbataí- séculos XVIII a XX, DEPLAN/IGCE/UNESP, Rio Claro, 2000. Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí. Disponível em: < www.rc.unesp.br/igce/ceapla>. Acesso em 14 de Jun. 2008.

GARCIA, G. J. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Interpretação de Imagens.** São Paulo: Nobel, 1982. 357p.

GENELETTI, D. A. A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley. **Land Use Policy**, v.21, p.149-160, 2004.

GRARAVELI, A. et al. Determining priority areas for native woodland expansion and restoration in Snozdonia National Park, Wales. **Biological Conservation**, v.115, p.395-402, 2004.

GRIFFITH, J. J.; JUCKS, I.; DIAS, L. E. Roteiro metodológico para zoneamento de áreas de proteção ambiental. Viçosa, MG:UFV/IBAMA/PNMA, 1995. 37p. (Projeto BRA/90/010, documento final)

GUISARD, D. M. P; KUPLICH, T. M.; MORELLI, A. F. Análise da cobertura florestal do município de São Jose dos Campos entre 1973 e 2004 utilizando sensoriamento remoto e ecologia de paisagem. **Anais.** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p.1691-1698.

HICKEY, R., JANKOWSKI, P. GIS and environmental decision-making to aid smelter reclamation planning. Environment and Planning A. **Great Britain**, v.29, p.5-19, 1997.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Barra Bonita.** Folha SF-22-Z-B-VI-1. Rio de Janeiro, 1974. 1 mapa. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Brotas.** Folha SF-22-Z-B-III-4. Rio de Janeiro, 1974. 1 mapa. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Corumbataí.** Folha SF-23-Y-A-I-2. Rio de Janeiro, 1971. 1 mapa. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dois Córregos.** Folha SF-22-Z-B-III-3. Rio de Janeiro, 1974. 1 mapa. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Itirapina.** Folha SF-23-M-I-3 Rio de Janeiro, 1969. 1 mapa. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Rio Claro**. Folha SF-23-M-I-4. Rio de Janeiro, 1969. 1 mapa. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Santa Maria da Serra**. Folha SF-22-Z-B-VI-2. Rio de Janeiro, 1974. 1 mapa. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **São Carlos**. Folha SF-23-Y-A-I-1. Rio de Janeiro, 1971. 1 mapa. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **São Pedro**. Folha SF-23-M-III-1. Rio de Janeiro, 1971 mapa. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Noções básicas de cartografia. [on line]. <http://ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoos/indice.htm>. Acesso em Set. 2008.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Sistema de processamento de informações espaciais: sistema de ajuda do SPRING. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>. Acesso em 12 de Mar. 2009.

IPEF- INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS. Conservação dos recursos hídricos e da cobertura florestal na bacia do Rio Corumbataí. Piracicaba: **IPEF**, 2001. 118p. (relatório de projeto).

IPEÚNA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ipe%C3%BAAna>>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

ITIRAPINA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Itirapina>>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

JAMEL, C. A. G., et al. Utilização da técnica de avaliação multi-critério em ambiente SIG como apoio ao zoneamento e manejo de unidades de conservação - o caso do Parque Estadual dos Três Picos – RJ. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, 5.**, 2007, Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu: UFPR, 2007. CD-ROM

JIANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. **Internationa Journal of Geographical Information Science**, v. 14, n.2, p.173-184, 2000.

KENNIE, T.J.M.; MATTHEWS, M.C. **Remote sensing in civil engineering**. New York: John Wiley, 1985. 357p.

KOFFLER, N. F. Uso das terras da bacia do Rio Corumbataí em 1990. **Geografia**, v.18, n.1, p.135-150, 1993.

KORTH, H.F.; SILBERSCHATZ, A. **Sistemas de Banco de Dados**. São Paulo: Makron Books, 1995.

LAGUNA MARÍN-YASELI, M.; NOGUÉS BRAVO, D. La potencialidad turística del medio natural en el Lic de las Sierras Ibericas Riojanas mediante Evaluación Multicriterio. **Zubía Monográfico**. Logroño. n.13, p.227-240, 2003.

LATHROP, R. G.; BOGNAR, J. A. Applying GIS and landscape ecological principles to evaluate land conservation alternatives. **Landscape and Urban Planning**, v.41, p.27-41, 1998.

LIOTTE, S. V. **Utilização de técnicas de geoprocessamento para apoio ao planejamento físico-territorial do Município de Pariquera-Açu/SP**. São Paulo, 170p. 2002. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. Índice de erodibilidade de solos do Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico de Campinas, **Boletim Técnico**, 1975, n. 27, 12 p.

MACHADO, P.A.L. **Direito Ambiental Brasileiro**. São Paulo: Malheiros, 2008.

MALCZEWSKI, J. GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. **International Journal of Geographical Information Science**, v.10, n.8, p.955-971, 1996.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: John Wiley, 1999. 362p.

MALCZEWSKI, J. On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. **Transaction in GIS**, V.4, n.a, p. 5-22, 2000.

MANNIGEL A. R et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MATHER, P.M. **Computer processing of remotely-sensed images**. 2. ed. Nottingham : John Wiley & Sons, 1999. 292 p.

MEDEIROS, J. S. & CAMARA G. GEOPROCESSAMENTO PARA PROJETOS AMBIENTAIS. IN: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. Introdução à Ciência da Geoinformação. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10-aplicacoesambientais.pdf>> Acesso em Fev. 2008

MINEIROS do Tietê. Disponível em:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Mineiros_do_Tiet%C3%AA>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

MISSIO, E. **Proposta conceitual de Zoneamento Ecológico-Econômico para o Município de Frederico Westphalen-RS**. 2003. São Carlos-SP. Brasil. Tese (Doutorado). PPG-ERN/UFSCar.

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

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos : INPE, 2001. 250p.

MORENO, J. (2007). 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, 2007, 182p.

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.

MORSELLO, C. **Áreas protegidas públicas e privadas: seleção e manejo**. São Paulo: Annablume, 2001.

NASCIMENTO, P. S. R. Atualização do mapa de vegetação Natural e Uso da Terra na Sub-Bacia do baixo Piracicaba (SP) com o auxílio de imagens TM/LANDSAT-5. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v.2., n.2., p31-45, Dez. 2004.

NOBRE, M. F. **O Zoneamento Ecológico-Económico como Instrumento de Planejamento e Gestão Ambiental: Uma proposta para a Bacia Hidrográfica do Rio Corumbataí (SP)**. 2008. 249f. Tese (Doutorado em Geociências) Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista-UNESP. Rio Claro.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgar Blucher, 1988. 308p.

OLIVIERA, J. B.; PRADO, H.; ALMEIDA, C. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de São Carlos. II. Escala 1:100.000. Memorial Descritivo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1984. 118p.

OLIVIERA, J. B.; PRADO, H. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula Piracicaba. 1:100.000 II. Memorial Descritivo. Campinas: Instituto Geográfico e Cartográfico. 1989. 118p.

OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: Legenda expandida. Campinas:FAPESP; 1999. 63p. escala 1:500.000

PAGANO, S. N. **Estudo florístico, fitossociológico e de ciclagem de nutrientes em mata mesófila decídua, no Município de Rio Claro, SP**. 1985. 201f. Tese (livre Docência). Instituto de Biociências, UNESP. Rio Claro, SP. 1985.

PAGANO, S. N. et al. 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. 7-48, 1989 a.

PAGANO, S. N. et al. Estrutura fitossociológica do estrato arbustivo-arboreo 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. 49-59, 1989b.

PEREIRA, M. F.V. & GONÇALVES, A. R. O Ecoturismo em Brotas-SP: Ação pública e privada na produção da localidade turística. **Geografia**, Rio Claro, v. 29, n. 2, p. 159-167, mai./ago. 2004.

PONÇANO, W. L. et al. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981. 94p. (Monografia 5).

PRADO, Helio Do. Levantamento Pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo: Quadrícula de Piracicaba. Escala 1:100.000. 1989.

RESENDE, M.; CURI, N.; KER, J.C. & REZENDE, S.B. Mineralogia de solos brasileiros: Interpretação e aplicações. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2005. 192p. RIO Claro. Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Rio_Claro_%28S%C3%A3o_Paulo%29>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora-MG: ed. Do Autor, 1999.

RODRIGUES, R. R. A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno. **Circular Técnica IPEF**, n.189, Agos, 1999. 17p.

RODRIGUES, J.E.; LIU, C.C. **A geometria da iluminação solar e sua influência na observação de estruturas geológicas em imagens orbitais**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 6p. 1991.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes antropizados. **Geografia**, v.8, p. 63-74, 1994

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**. N. 15, p.234-281, 1977.

SANTA Maria da Serra. Disponível em:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Santa_maria_da_serra>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

SÃO Carlos. Disponível em:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Carlos_%28S%C3%A3o_Paulo%29>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

SÃO Manuel. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Manuel> Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

SÃO PAULO. Propostas de Zoneamento ambiental. Áreas de Proteção Ambiental do Estão de São Paulo. Série documento. Secretaria do Meio Ambiente. Coordenadoria de Planejamento Ambiental – CPLA. Projeto Especial SP ECO 92. 76p. 1992.

SÃO Pedro. Disponível em:
< http://pt.wikipedia.org/wiki/S%C3%A3o_Pedro_%28S%C3%A3o_Paulo%29>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

SARTORI NETO, A. **Subsídios para elaboração do plano de manejo do Parque Nacional Grande Sertão Veredas, por meio de um sistema de informações geográficas.** 2000. 98f. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa: Viçosa.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. Disponível em <<http://www.seade.gov.br/produtos/perfil/perfil.php>>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

SCHNEIDER, R.L.; MÜHLMANN, H.; TOMMASI, E.; MEDEIROS, R.A.; DAEMON, R.F. & NOGUEIRA, A.A. 1974. Revisão Estratigráfica da bacia do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974. **Anais**, Porto Alegre, SBG, 1:41-66.

SILVA, da A. M & ALVARES, C. A. Levantamento de informações e estruturação de um banco dados sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. São Paulo, UNESP. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-41. 2005

SOARES, P. C. Arenito Botucatu e Piramboia no Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972. Belém. **Resumos...**Belém, 1972. p245.

SOARES, P.C. & FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícias Geomorfológicas**. vol. 6, n.32, p.71-104, 1976.

SOARES, P. C. & LANDIM, P. M. B. Depósitos cenozóicos na região centro-sul do Brasil. **Notícias Geomorfológicas**. v.16, n. 31, p.17-39. 1976.

SPRING. Menú de Ajuda; Informações Conceituais. SPRING v.4.3. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Disponível em: <www.dpi.inpe.br/spring/portugues/download.php>. Acesso em 12 de Mar. 2009.

THILL, J. C. **Multicriteria decision-making and analysis: A Geographic Information Sciences approach.** New York: Ashgate, 1999. 354p.

TORRINHA. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Torrinha>>. Acesso em: 17 de Jul. de 2008.

VARMA, V. K.; FERGUSON, I.; WILD, I. Decision support system for the sustainable Forest management. **Forest Ecology and Management**, v.128, p.49-55, 2000.

VALENTE, R. O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG.** 2005. 121f.. Tese (Doutorado). Escola Superior “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

VALENTE, R. O. A; VETTORAZZI, C. A. Análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Scientia Forestalis**, n.62, p.114-129, dez. 2002.

VALENTE, R. O. A; VETTORAZZI, C. A. Mapeamento do uso e cobertura do solo na bacia do Rio Corumbataí, SP. **Circular Técnica IPEF**, n.196, 10p. Maio. 2003.

VALÉRIO FILHO, M. Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas ao estudo integrado de bacias hidrográficas. **In:** PEREIRA, V.P.; FERREIRA, M.V.; CRUZ, M.C.P. (Editores), Solos altamente suscetíveis à erosão. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV)/UNESP-Jaboticabal e Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1994, p. 223-242.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação (UBCs)**. 2000. 154 f. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

VENEZIANI, P. & ANJOS, C.E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia**. São José dos Campos: INPE. 54p. 1982.

VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. O. A.; BALLESTER, M. V. R. Forest fire hazard mapping in a GIS environment for a river basin in the state of São Paulo, Brazil. **In:** INTERNACIONAL CONFERENCE ON GEOSPATIAL INFORMATION IN AGRICULTURE AND FORESTRY, 2., Lake Buena Vista, 2000. **Proceedings**. Ann Arbor: ERIM International, 2000. v.1, p.10-12.

VITTE, A. C. & PEREIRA de Mello, J. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas conseqüências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. **Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro - Vol.2 - n.2 - julho/dezembro/2007, p. 107.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983. 125p.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Relation os foil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America Proceedings**, n.33, p.65-69, 1969.

ZAINE, 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, 83p. Relatório de Pós-doutorado, CNPq – CEAPLA – IGCE (UNESP). 1996

ZAVATINI, J. A. & CANO, H. Variações do ritmo pluvial na bacia do Rio Corumbataí **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, v. 23, n. 1, p. 215-241, 1993.

ZHU, X. & DALE, A. P. JavaAHP: a Web-based decision analysis tool for natural resource and environmental management. **Environmental Modelling and Software**. v.16, n.3, p.251-262, 2001.

ZORZETTO, R; FIORAVANTI, C.; FERRONI, M. A. A floresta renasce. **Pesquisa FAPESP**, p48-53, set. 2003.

ANEXO 1

LIMITE DA APA CORUMBATAÍ

ANEXO 1 DO DECRETO ESTADUAL nº 20.960, DE 8 DE JUNHO DE 1983

“O primeiro perímetro em que se situa o Município de Corumbataí inicia-se no entroncamento da Rodovia BR 369/SP 225 com a rodovia SP 197 (ponto 1); segue a Rodovia SP 197 em direção Oeste e depois Sul a o cruzamento com a estrada de terra para a Usina Varjão de Açúcar e Álcool (ponto 2); segue até a estrada de terra em direção a Usina Varjão até o cruzamento desta estrada com o Córrego Benjamin (ponto 3); segue em linha reta para o Sul até a confluência do rio Jacaré-Pepira, ou Grande, com o Córrego do Saltinho (ponto 4); segue em linha reta para Sudoeste até a confluência do córrego Bom Sucesso com o córrego Bom Sucesso do Meio, onde se localiza a sede da fazenda Bom Sucesso (ponto 5); segue em linha reta para Noroeste até a confluência do córrego Antunes com a Rodovia SP 304 (ponto 6); acompanha em sentido Noroeste a Rodovia SP 304 até a ponte sobre o ribeirão do Lajeado (ponto 7); segue em linha reta para Sudeste até a confluência do Córrego do Borrvalho com o ribeirão São João (ponto 8); segue em linha reta para Sudeste até a foz do Ribeirão das Três Barras na represa de Barra Bonita (ponto 9); acompanha a margem Norte da represa de Barra Bonita até a foz do Ribeirão do Meio no rio Piracicaba (ponto 10); sobre o Ribeirão do Meio pela margem esquerda até a confluência deste com a Rodovia SP 304/191 (ponto 11); segue a Leste pela Rodovia SP 304/191 até a ponte sobre o Ribeirão Araquá (ponto 12); segue a Nordeste pela margem esquerda do Ribeirão Araquá até o cruzamento com a linha de alta tensão (que vem no sentido de Brotas a Piracicaba) no extremo Sul do Alagado (ponto 13); segue em linha reta para Nordeste até a confluência do Ribeirão Água Vermelha com o Córrego Mãe Preta (ponto 14); segue em linha reta Nordeste até a confluência do Rio Passa Cinco com o Ribeirão dos Sinos (ponto 15); desce o Rio Passa Cinco pela margem direita até a confluência deste com o Rio da Cabeça (ponto 16); sobre o Rio da Cabeça pela margem esquerda até a confluência deste com o Ribeirão da Boa Vista (ponto 17); sobre o Ribeirão da Boa Vista (ponto 17); sobre o Ribeirão da Boa Vista pela sua margem esquerda até o cruzamento com a Rodovia Washington Luiz BR 364/SP 310 (ponto 18); segue em linha reta para o Nordeste até o ponto mais elevado da serra da Boa Vista (ponto 19); segue em linha reta para o Norte até a confluência do Rio Corumbataí com o Córrego do Monte Alegre (ponto 20) sobe o Rio Corumbataí pela margem esquerda até a confluência deste com a

Rodovia BR 369/ SP 225 (ponto 21); segue em linha reta no sentido NE até o ponto central da porta principal da sede da Fazenda Quadrão (ponto 22); segue em linha reta para Oeste até o ponto central do cruzamento das Rodovias BR 267/SP 215 e BR 364/SP 310 (ponto 23); segue em linha reta para Sudoeste até a confluência do Rio Jacaré-Guaçu com o Ribeirão da Onça (ponto 24); segue em linha reta para Sudoeste até o centro do Edifício da Estação Ferroviária de Campo Alegre (ponto 25); segue em linha reta para Sudoeste até encontrar o cruzamento da linha de Alta Tensão (sentido Brotas a Piracicaba) com a Rodovia BR 369/SP 225 (ponto 26); segue a Rodovia BR 369/SP 225 no sentido Oeste até encontrar o ponto inicial, ou seja, o entroncamento desta Rodovia com a SP 197. Incluem-se também a área da Serra da Atalaia, situada acima da cota altimétrica de 780 (setecentos e oitenta) metros de altitude e a Ilha do Serrito da Represa de Barra Bonita.”

ANEXO 2

PROGRAMAÇÃO LEGAL PARA A COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA

Fator Erodibilidade assumindo maior importância.

Tematico var1 ("Geologia");
 Tematico var2 ("Geomorfologia");
 Tematico var3 ("Pedologia");
 Tematico var4 ("UsoOcupação");
 Tematico var5 ("Declividade_fati");
 Tematico var6 ("distância_APPS50m");
 Tematico var7 ("distância_nascentes");
 Tematico var8 ("distância_represas_100m");
 Tematico var9 ("distância_rios30m");

Tabela tab1 (Ponderacao);
 tab1 = Novo (CategoriaIni = "Geologia" ,
 "JKsg":3,
 "TrJp":6,
 "JKb":5,
 "KTi":8,
 "Qa":10,
 "Pc":8,
 "Ptt":0,
 "TQr":9,
 "Represa do Lobo":1);

Tabela tab2 (Ponderacao);
 tab2 = Novo (CategoriaIni = "Geomorfologia" ,
 "Planicies Aluviais":2,
 "Colinas Amplas":3,
 "Colinas Medias":4,
 "Morrotes Alongados e Espigões":7,
 "Mesas Basalticas":5,
 "Escarpas Festonadas":10,
 "Encostas con Canions locais":9,
 "Morros Arredondados":6,
 "Encostas vales subpar":8,
 "Represa":1);

Tabela tab3 (Ponderacao);
 tab3 = Novo (CategoriaIni = "Pedologia" ,
 "PV1Arg_tex_are/med_med/argarelo":7.8,
 "Gleissolo":8,
 "LE1_LV_tex_arg":5.5,
 "LV5LVAm_tex_arg_ou_med":5.8,
 "Latossolo vermelho distrofico":5,
 "Latossolo vermelho eutrofico":5,
 "Li4_Neos_tex_indiscri":7.5,
 "Li2_Neos_tex_arg":7,

```

"Organossolo":8,
"TE1_Nitos_tex_arg_ou_mtoarg":6,
"Represa":1,
"PV2Arg_tex_med/arg_ou_are/med":7.2,
"PV3Arg_tex_med_ou_are/med":7.6,
"PV4Arg_tex_med_ou_med/arg":7.4,
"PV5tex_med/arg_fase_pedregosa":7.1,
"PV6tex_arg_ou_media_argil":7,
"LV6LVAm_tex_mtoarg_ou_arg":6,
"LV4_LVAm_tex_media":5.6,
"LE2_LV_tex_med":6,
"Li1_Neos_tex_med":8,
"AQ_areias_quartzosas":8,
  "PV7Arg_tex_are/med":8);

```

Tabela tab4 (Ponderacao);

```

tab4 = Novo (CategoriaIni = "UsoOcupação" ,
  "Mata":2,
  "Cerrado":4,
  "Reflorestamento":3,
  "Solo exposto":10,
  "Área Urbana":1,
  "Cultura Anual":7,
  "Água":1,
  "Cultura Perene":7,
  "Mineração":9,
  "Pastagem":5,
  "Cana de açúcar":7,
  "outros":5);

```

Tabela tab5 (Ponderacao);

```

tab5 = Novo (CategoriaIni = "Declividade_fati" ,
  "muito alta":9,
  "alta":7,
  "media":5,
  "baixa":3,
  "muito baixa":1);

```

Tabela tab6 (Ponderacao);

```

tab6 = Novo (CategoriaIni = "distância_APPs50m" ,
  "muito alta":9,
  "alta":7,
  "media":5,
  "baixa":3,
  "muito baixa":1);

```

Tabela tab7 (Ponderacao);

```

tab7 = Novo (CategoriaIni = "distância_nascentes" ,
  "muito alta":9,

```

```

        "alta":7,
        "media":5,
        "baixa":3,
        "muito baixa":1);
Tabela tab8 (Ponderacao);
tab8 = Novo (CategoriaIni = "distância_represas_100m" ,
        "muito alta":9,
        "alta":7,
        "media":5,
        "baixa":3,
        "muito baixa":1);

Tabela tab9 (Ponderacao);
tab9 = Novo (CategoriaIni = "distância_rios30m" ,
        "muito alta":9,
        "alta":7,
        "media":5,
        "baixa":3,
        "muito baixa":1);

// Definicão do dado de saída

Numerico var10 ("AHP");

// Recuperação dos dados de entrada

var1 = Recupere (Nome="Unidades_geologicas");
var2 = Recupere (Nome="Unidades_geomorfologicas");
var3 = Recupere (Nome="Unidades_pedologicas");
var4 = Recupere (Nome="342Class_Isoseg75%-T_rec");
var5 = Recupere (Nome="declividade%_>30");
var6 = Recupere (Nome="APP_OK");
var7 = Recupere (Nome="APP_OK");
var8 = Recupere (Nome="represa_OK");
var9 = Recupere (Nome="APP_OK");
// Criação do dado de saída

var10 = Novo (Nome="AHP_pondera10_OK", ResX=20, ResY=20, Escala=40000,

        Min=1, Max=10);

// Geração da média ponderada

var10 = 0.11*(Pondere(var1, tab1)) + 0.14*(Pondere(var2, tab2)) + 0.24*(Pondere(var3,
tab3)) + 0.21*(Pondere(var4, tab4)) + 0.14*(Pondere(var5, tab5)) + 0.04*(Pondere(var6,

```

```
tab6)) + 0.05*(Pondere(var7, tab7)) + 0.04*(Pondere(var8, tab8)) + 0.03*(Pondere(var9,  
tab9));  
}
```

ANEXO 3

PROGRAMAÇÃO LEGAL PARA A COMBINAÇÃO LINEAR PONDERADA

Fator Cobertura Vegetal assumindo maior importância.

Tematico var1 ("Geologia");
 Tematico var2 ("Geomorfologia");
 Tematico var3 ("Pedologia");
 Tematico var4 ("UsoOcupação");
 Tematico var5 ("Declividade_fati");
 Tematico var6 ("distância_APPS50m");
 Tematico var7 ("distância_nascentes");
 Tematico var8 ("distância_represas_100m");
 Tematico var9 ("distância_rios30m");

Tabela tab1 (Ponderacao);
 tab1 = Novo (CategoriaIni = "Geologia" ,
 "JKsg":3,
 "TrJp":6,
 "JKb":5,
 "KTi":8,
 "Qa":10,
 "Pc":8,
 "Ptt":0,
 "TQr":9,
 "Represa do Lobo":1);

Tabela tab2 (Ponderacao);
 tab2 = Novo (CategoriaIni = "Geomorfologia" ,
 "Planicies Aluviais":2,
 "Colinas Amplas":3,
 "Colinas Medias":4,
 "Morrotes Alongados e Espigões":7,
 "Mesas Basalticas":5,
 "Escarpas Festonadas":10,
 "Encostas con Canions locais":9,
 "Morros Arredondados":6,
 "Encostas vales subpar":8,
 "Represa":1);

Tabela tab3 (Ponderacao);
 tab3 = Novo (CategoriaIni = "Pedologia" ,
 "PV1Arg_tex_are/med_med/argarelo":7.8,
 "Gleissolo":8,
 "LE1_LV_tex_arg":5.5,
 "LV5LVAm_tex_arg_ou_med":5.8,
 "Latossolo vermelho distrofico":5,
 "Latossolo vermelho eutrofico":5,
 "Li4_Neos_tex_indiscri":7.5,
 "Li2_Neos_tex_arg":7,

```

"Organossolo":8,
"TE1_Nitos_tex_arg_ou_mtoarg":6,
"Represa":1,
"PV2Arg_tex_med/arg_ou_are/med":7.2,
"PV3Arg_tex_med_ou_are/med":7.6,
"PV4Arg_tex_med_ou_med/arg":7.4,
"PV5tex_med/arg_fase_pedregosa":7.1,
"PV6tex_arg_ou_media_argil":7,
"LV6LVAm_tex_mtoarg_ou_arg":6,
"LV4_LVAm_tex_media":5.6,
"LE2_LV_tex_med":6,
"Li1_Neos_tex_med":8,
"AQ_areias_quartzosas":8,
"PV7Arg_tex_are/med":8);

```

Tabela tab4 (Ponderacao);

```

tab4 = Novo (CategoriaIni = "UsoOcupação" ,
  "Mata":2,
  "Cerrado":4,
  "Reflorestamento":3,
  "Solo exposto":10,
  "Área Urbana":1,
  "Cultura Anual":7,
  "Água":1,
  "Cultura Perene":7,
  "Mineração":9,
  "Pastagem":5,
  "Cana de açúcar":7,
  "outros":5);

```

Tabela tab5 (Ponderacao);

```

tab5 = Novo (CategoriaIni = "Declividade_fati" ,
  "muito alta":9,
  "alta":7,
  "media":5,
  "baixa":3,
  "muito baixa":1);

```

Tabela tab6 (Ponderacao);

```

tab6 = Novo (CategoriaIni = "distância_APPs50m" ,
  "muito alta":9,
  "alta":7,
  "media":5,
  "baixa":3,
  "muito baixa":1);

```

Tabela tab7 (Ponderacao);

```

tab7 = Novo (CategoriaIni = "distância_nascentes" ,
  "muito alta":9,

```

```

        "alta":7,
        "media":5,
        "baixa":3,
        "muito baixa":1);
Tabela tab8 (Ponderacao);
tab8 = Novo (CategoriaIni = "distância_represas_100m" ,
        "muito alta":9,
        "alta":7,
        "media":5,
        "baixa":3,
        "muito baixa":1);

Tabela tab9 (Ponderacao);
tab9 = Novo (CategoriaIni = "distância_rios30m" ,
        "muito alta":9,
        "alta":7,
        "media":5,
        "baixa":3,
        "muito baixa":1);

// Definicão do dado de saída

Numerico var10 ("AHP");

// Recuperacao dos dados de entrada

var1 = Recupere (Nome="Unidades_geologicas");
var2 = Recupere (Nome="Unidades_geomorfologicas");
var3 = Recupere (Nome="Unidades_pedologicas");
var4 = Recupere (Nome="342Class_Isoseg75%-T_rec");
var5 = Recupere (Nome="declividade%_>30");
var6 = Recupere (Nome="APP_OK");
var7 = Recupere (Nome="APP_OK");
var8 = Recupere (Nome="represa_OK");
var9 = Recupere (Nome="APP_OK");
// Criacao do dado de saída

var10 = Novo (Nome="AHP_pondera11_OK", ResX=20, ResY=20, Escala=40000,

        Min=1, Max=10);

// Geracao da media ponderada

var10 = 0.11*(Pondere(var1, tab1)) + 0.14*(Pondere(var2, tab2)) + 0.15*(Pondere(var3,
tab3)) + 0.30*(Pondere(var4, tab4)) + 0.14*(Pondere(var5, tab5)) + 0.04*(Pondere(var6,

```

```
tab6)) + 0.05*(Pondere(var7, tab7)) + 0.04*(Pondere(var8, tab8)) + 0.03*(Pondere(var9,  
tab9));  
}
```