

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA ENERGIA

Sandra Benfica dos Santos

**Análise do Uso e Ocupação do Solo de
Áreas de Preservação Permanente
Utilizando Ferramentas de SIG na Gestão de
Bacias Hidrográficas: O Caso da Bacia
Hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia da Energia.

Área de Concentração: Energia, Sociedade e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Alves de Almeida

Co-orientador: Prof. Dr. Francisco Antonio Dupas

Julho de 2007

Itajubá - MG

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), pela oportunidade de realizar este curso.

À Tânia Cristina Seixas e Ana Sofia Viana Alves, que motivaram o início dessa jornada.

Ao professor Roberto Alves de Almeida pela orientação e apoio para a realização deste trabalho.

Ao professor Francisco Antonio Dupas pela co-orientação.

Ao professor Marcelo Ribeiro Barison por sua colaboração, incentivo, atenção e valiosos esclarecimentos.

À professora Maria Inês N. Alvarenga, pelas idéias clareadoras.

Aos professores do Mestrado em Engenharia da Energia, em especial aos professores Augusto N. Carvalho Viana e Edson da Costa Bortoni.

Aos companheiros de pós-graduação, pela troca de informações e pelas horas alegres que tivemos, em especial a Emilene Martins, Elizângela Maria Francisco e as professoras Gilze Belém Chaves Borges e Daniela Rocha Teixeira, que me ajudaram muito.

Ao professor Miguel Flori Gorgulho pelos ensinamentos de GPS, TrackMaker, Adobe Photoshop e inestimáveis contribuições. Pela amizade, dedicação e paciência.

Ao Reynaldo Guedes Neto (PROJETO Arquitetura, Urbanismo e Meio Ambiente) e ao René A. P. Simões (PÉGASUS CONSULTORIA), pelo material disponibilizado.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A ocupação do solo no Brasil ocorre tradicionalmente de maneira desordenada, sem uma avaliação consistente das características e das potencialidades do meio físico e desconsidera suas possíveis implicações na qualidade e quantidade dos recursos naturais. Analisar o uso do solo nas áreas de preservação permanente e áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, sob a luz da legislação ambiental e por meio da aplicação de sistemas de informação geográfica (SIG), é o objetivo deste trabalho. A bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço está situada sobre as principais áreas de recarga dos aquíferos de São Lourenço, estância hidromineral localizada no sul de Minas Gerais. Foram utilizadas imagens de satélite, carta topográfica, mapa de vulnerabilidade natural da bacia e levantamento de dados de campo. Os dados obtidos foram manipulados em programas computacionais de processamento e tratamento de informações geográficas. Como resultado foi composto um acervo de mapas temáticos, como de uso do solo, declividade, áreas de preservação permanente e uso conflitante do solo. Os resultados mostram que a bacia em estudo encontra-se bastante alterada pela ação antrópica, é claro o não cumprimento da legislação ambiental e a necessidade de recomposição com vegetação nativa das áreas degradadas ou de alta vulnerabilidade. O presente trabalho fornece um banco de dados para futuro planejamento e gerenciamento de uso e ocupação do solo, bem como divulga a existência de ferramentas de suporte à tomada de decisão que tornam mais ágil e dinâmica a construção de diferentes visões sobre o mesmo espaço.

Palavras-chave: Áreas de preservação permanente, uso e ocupação do solo, sistemas de informação geográfica, vulnerabilidade de aquíferos.

ABSTRACT

Land use in Brazil traditionally happens in a disordered way, without a strong evaluation of characteristics and physical environment potentialities and also disrespecting possible consequences in quality and quantity of natural resources. The purpose of this work is to analyze land use in the areas of permanent preservation and areas of high natural vulnerability of São Lourenço Stream hydrographic basin, under the light of the environmental legislation and through the application of geographic information systems (GIS). São Lourenço Stream hydrographic basin is placed on main reloading areas of São Lourenço's aquifers, hydromineral city located in south of Minas Gerais State. Satellite images, topographical letter, map of basin natural vulnerability and field researches data were used. All data were organized in computer programs for processing and treatment of geographical information. The result being a collection of thematic maps from land use, slope, areas of permanent preservation and conflicting land use. The report shows that the basin in study is quite damaged by human action, showing clearly the non execution of environmental legislation as well as the need to restore the degraded or of high vulnerability areas with native vegetation. The present study provides a database for future planning and managing of use and occupation of soil and also discloses the existence of support tools for decision making, turning more agile and dynamic the construction of different visions on the same space.

Keywords: Areas of permanent preservation, land use, geographic information systems, aquifers vulnerability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1- Vista parcial do Parque das Águas de São Lourenço-MG.....	11
FIGURA 2.1- Tipos de aquíferos quanto à pressão	15
FIGURA 2.2- Sistemas de fluxos subterrâneos em bacias hidrográficas	16
FIGURA 2.3- Poluição da água subterrânea com diferentes origens	17
FIGURA 2.4- Representação esquemática da formação da água mineral	20
FIGURA 2.5- Sistemas que integram um SIG	27
FIGURA 2.6- O SIG no contexto de tomada de decisão	28
FIGURA 2.7- Interação da energia eletromagnética com o objeto	29
FIGURA 2.8- Assinaturas espectrais	30
FIGURA 3.1- Localização do município de São Lourenço-MG	32
FIGURA 3.2- Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço	33
FIGURA 3.3- Mapa geológico da bacia do Ribeirão São Lourenço	35
FIGURA 3.4- Modelo de circulação das águas subterrâneas no Parque das Águas e arredores.....	38
FIGURA 3.5- Modelo teórico de circulação das águas subterrâneas	40
FIGURA 3.6- Sistema para avaliação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero	42
FIGURA 3.7- Mapa de vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço	43
FIGURA 4.1- Fluxograma da metodologia	44
FIGURA 4.2- Detalhe das curvas de nível sobrepostas ao mapa de declividade	48
FIGURA 5.1- Composição colorida 4R 2G 3B do sensor CCD	50
FIGURA 5.2- Mapa de uso do solo da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004	51
FIGURA 5.3- Mapa de declividade da bacia do Ribeirão São Lourenço	54
FIGURA 5.4- Mapa com as áreas de preservação permanente relativas aos cursos d'água da bacia do Ribeirão São Lourenço	56
FIGURA 5.5- Mapa com as áreas de preservação permanente relativas às nascentes da bacia do Ribeirão São Lourenço	57
FIGURA 5.6- Mapa com as áreas de preservação permanente relativas aos topos de morros, montanhas e linha de cumeada da bacia do Ribeirão São Lourenço	58

FIGURA 5.7- Mapa com as áreas de preservação permanente relativas à declividade superior a 45° da bacia do Ribeirão São Lourenço	59
FIGURA 5.8- Localização dos morros e montanhas no interior e ao redor da bacia do Ribeirão São Lourenço	60
FIGURA 5.9- Mapa contendo todas as áreas de preservação permanente da bacia do Ribeirão São Lourenço	61
FIGURA 5.10- Mapa de uso do solo nas APPs da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004	64
FIGURA 5.11- Mapa de uso conflitante do solo nas APPs da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004	65
FIGURA 5.12- Mapa de uso do solo nas áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004	68
FIGURA 5.13- Mapa contendo todas as APPs e áreas de alta Vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço	70
FIGURA 5.14- Mapa de uso conflitante do solo nas APPs e áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004	71
FIGURA 5.15- Mapa de uso do solo nas APPs e áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004	73

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1- Características das fontes de São Lourenço (1997)	36
TABELA 5.1- Área total e distribuição percentual das classes de uso do solo da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004	52
TABELA 5.2- Área total e distribuição percentual das classes de declividade da bacia do Ribeirão São Lourenço	53
TABELA 5.3- Superfície total da bacia do Ribeirão São Lourenço protegida por categoria de área de preservação permanente	62
TABELA 5.4- Uso do solo nas APPs das nascentes, cursos d'água, áreas com declividade superior a 45° e topos de morros, montanhas e linha de cumeada, da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004	63
TABELA 5.5- Área total e distribuição percentual das classes de vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço	66
TABELA 5.6- Uso do solo nas áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004	67
TABELA 5.7- Uso do solo nas APPs e áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004	72

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	12
1.1.1 OBJETIVO GERAL	12
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.2 Justificativa	12
CAPÍTULO 2- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Aquíferos	14
2.1.1 IMPACTOS AMBIENTAIS SOBRE OS AQUÍFEROS	17
2.2 Origem das Águas Minerais	19
2.3 Aspectos Legais Relativos ao Uso da Água	21
2.4 Caracterização e Importância das Áreas de Preservação Permanente em Bacias Hidrográficas	23
2.5 Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto – Conceitos Gerais	25
CAPÍTULO 3- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
3.1 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos	34
3.2 Aspectos Hidrogeológicos	34
3.3 Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos	40
CAPÍTULO 4- METODOLOGIA	44
4.1 Mapa de Uso do Solo	45
4.2 Mapa de Declividade	46
4.3 Mapa de Áreas de Preservação Permanente	47
4.4 Análise do Uso do Solo nas Áreas de Preservação Permanente	48
4.5 Análise do Uso do Solo nas Áreas de Alta Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos	49
CAPÍTULO 5- RESULTADOS E ANÁLISES	50
5.1 Uso do Solo	50
5.2 Declividade	53
5.3 Áreas de Preservação Permanente	55
5.4 Uso do Solo nas Áreas de Preservação Permanente	63
5.5 Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos	66
5.6 Uso do Solo nas Áreas de Alta Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos	67

5.7 Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Alta Vulnerabilidade Natural dos Aqüíferos	69
CAPÍTULO 6- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	82

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

A água constitui o recurso natural mais importante por ser fundamental aos outros recursos, por ter influência direta na manutenção da vida, saúde e bem-estar do homem e por garantir auto-suficiência econômica de uma região ou país. A água potável acessível é relativamente escassa e, sem dúvida, essa escassez será um dos principais problemas ambientais a serem enfrentados pela população mundial nas próximas décadas (PINTO, 2003).

Entre os meios de que os homens lançaram mão para finalidades medicinais, talvez nenhum seja mais antigo e genérico do que as águas de fontes ou águas minerais. Ao longo da história, essas águas consagraram-se pelo uso generalizado e provas clínicas milenares. Seus poderes terapêuticos foram constatados pela medicina para os mais variados tipos de enfermidades em diversas partes do mundo (MARTINS *et al.*, 2002).

São Lourenço é uma cidade que, pelas suas características ambientais peculiares, tornou-se uma estância hidromineral. A utilização das águas minerais para o tratamento da saúde está historicamente ligada ao seu desenvolvimento. Sua economia baseia-se fundamentalmente no turismo, sendo que o Parque das Águas (FIGURA 1.1) constitui a principal atração turística devido à diversidade das águas de suas fontes. Tempos atrás, era comum em São Lourenço a delimitação de um período chamado de “Estação de Águas”, período este de 28 dias em que se buscava a cura de diversos males através da ingestão dessas águas especiais.

A água é um exímio indicador ambiental da qualidade da manipulação do solo pelo homem. As águas dos cursos que drenam uma região apresentam características físico-químicas próprias, que refletem as atividades do solo da respectiva bacia hidrográfica (TONELLO, 2005).

O termo bacia hidrográfica pode ser definido como uma área de captação da água de precipitação, demarcada por divisores topográficos, onde toda água captada converge para um único ponto de saída, o exutório (KARMANN, 2003).



FIGURA 1.1 - Vista parcial do Parque das Águas de São Lourenço-MG.

A bacia hidrográfica constitui-se na mais adequada unidade de planejamento quando se deseja a preservação dos recursos hídricos, já que as atividades desenvolvidas no seu interior têm influência sobre a quantidade e qualidade da água. Assim, o disciplinamento do uso e da ocupação dos solos da bacia hidrográfica é o meio mais eficiente de controle dos recursos hídricos que a integram (TONELLO, 2005).

O gerenciamento de bacias hidrográficas pressupõe a integração e análise de um grande número de informações, que se revela difícil e demorada por métodos convencionais. A maior parte destas informações pode ser representada espacialmente através de mapas, que é uma forma de compreensão mais fácil que os valores numéricos usuais. Os sistemas de informação geográfica (SIG) são ferramentas de grande potencial de integração de dados para subsidiar o gerenciamento de bacias (SARMENTO *et al.*, 2001).

1.1 Objetivos

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o uso do solo nas áreas de preservação permanente e áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço com a utilização de SIG.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os usos do solo na bacia hidrográfica através de imagens orbitais.
- Delimitar as áreas de preservação permanente da bacia hidrográfica de acordo com o Código Florestal (Lei nº 4.771/65) e a Resolução CONAMA nº 303 de 2002.
- Dimensionar as áreas de preservação permanente utilizadas em desacordo com a lei ambiental.
- Verificar o uso do solo nas áreas de alta vulnerabilidade natural dos aquíferos.

1.2 Justificativa

A ocupação do solo no Brasil caracterizou-se pela falta de planejamento e conseqüente destruição dos recursos naturais, devido à falsa idéia de que estes eram inesgotáveis. Isto estimulou o chamado “desenvolvimento” desordenado, sem compromisso com o futuro (BARBOSA, 2006). No caso específico das águas subterrâneas, essa ocupação desordenada tem efeitos extremamente prejudiciais, tais como a alteração no regime de infiltração da água no solo, a contaminação dos aquíferos e a superexploração de suas águas.

Estudos comparativos de medidas de vazão e de qualidade química das águas das fontes de São Lourenço, realizados pela CPRM (1999a), constataram menor índice de mineralização das águas subterrâneas, redução de vazão e riscos de contaminação. Tais alterações foram associadas às ações antrópicas, como desmatamento em áreas de recarga, superexploração dos aquíferos e proximidade às redes de esgotamento.

Para esta pesquisa foi selecionada a bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço pela sua importância para a cidade de São Lourenço, como demonstra estudo realizado pela Fundação João Pinheiro (1985). Além de conter as principais

áreas de recarga dos aquíferos provedores de águas minerais, seu curso d'água principal corta a cidade de Oeste a Leste e a atravessa em seu ponto mais nobre.

Portanto, o disciplinamento do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço é necessário para a proteção dos mananciais e manutenção do equilíbrio natural da cidade. Assim, a presente pesquisa considera essa necessidade e analisa o uso do solo nas áreas de preservação permanente e nas áreas de alta vulnerabilidade da bacia com a utilização de SIG. Tal análise gera informações que podem subsidiar a fiscalização e o monitoramento ambiental dessas áreas, bem como divulga a existência de ferramentas de apoio à tomada de decisões e de gerenciamento de informações.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aqüíferos

Aqüífero é uma formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais (FEITOSA *et al.*, 2000). Pode ser classificado, segundo a geologia do material saturado, em três tipos: poroso, fraturado e cárstico.

No âmbito desta dissertação merece destaque o aqüífero poroso e o fraturado. O *aqüífero poroso (ou sedimentar)* ocorre em rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros formados entre grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem os mais importantes aqüíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em grandes áreas. O *aqüífero fraturado (ou fissural)* ocorre em rochas ígneas e metamórficas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas abertas devido aos esforços tectônicos. A capacidade destas rochas em acumularem água está relacionada à quantidade de fraturas, suas aberturas e intercomunicação (BORGHETTI *et al.*, 2004).

Os aqüíferos também podem ser classificados em dois tipos, em função da pressão a que a água está submetida (FIGURA 2.1):

- *Aqüífero livre (ou freático)*: é aquele constituído por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante e, limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Este tipo de aqüífero tem a chamada recarga direta e o nível da água varia segundo a quantidade de chuva (BORGHETTI *et al.*, 2004).
- *Aqüífero confinado (ou artesian)*: é aquele constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. O seu reabastecimento ou recarga, através das chuvas, se dá preferencialmente nos locais onde a formação aflora à superfície. Este tipo de aqüífero tem a chamada recarga indireta. Neles, o nível da água encontra-se sob

pressão e podem causar artesianismo nos poços que captam suas águas (BORGHETTI *et al.*, 2004).

O aquífero semi-confinado é aquele que se encontra limitado na base, no topo, ou em ambos, por camadas cuja permeabilidade é menor do que a do aquífero em si. O fluxo preferencial da água se dá ao longo da camada aquífera. Secundariamente, esse fluxo se dá através das camadas semi-confinantes, à medida que haja uma diferença de pressão hidrostática entre a camada aquífera e as camadas subjacentes ou sobrejacentes. Em determinadas circunstâncias, um aquífero livre poderá ser abastecido por água oriunda de camadas semi-confinadas subjacentes, ou vice-versa. Zonas de fraturas ou falhas também poderão constituir-se em pontos de fuga ou recarga da água da camada confinada (BORGHETTI *et al.*, 2004).

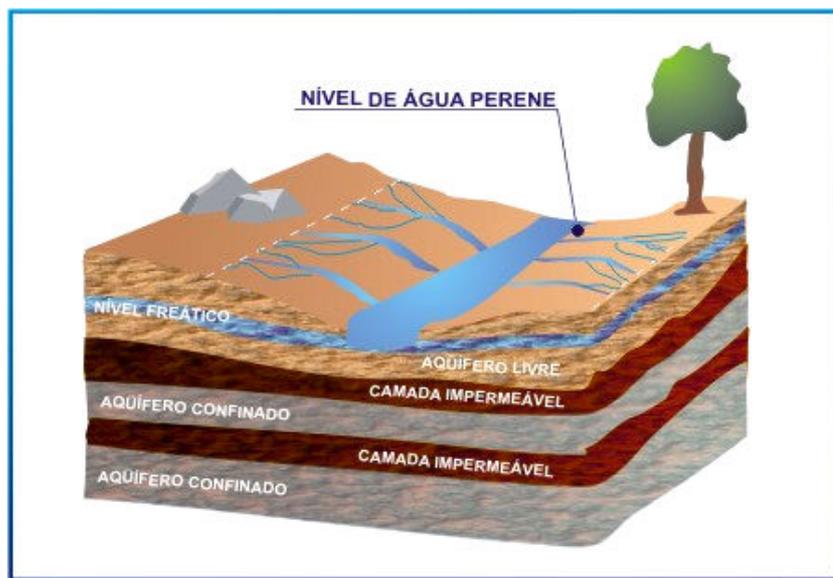


FIGURA 2.1- Tipos de aquíferos quanto à pressão
Fonte: BORGHETTI *et al.* (2004)

As águas subterrâneas encontradas nos aquíferos se acumularam ao longo de milhares de anos e se encontram, em condições naturais, numa situação de quase equilíbrio, governado por um mecanismo de recarga e descarga (FEITOSA *et al.*, 2000). De uma forma geral, as taxas de recarga são maiores nas regiões planas, bem arborizadas, e nos aquíferos livres. Nas regiões de relevo acidentado, sem cobertura vegetal, sujeitas a práticas de uso e ocupação que favorecem a formação

de escoamento superficial, a recarga ocorre mais lentamente e de maneira limitada (REBOUÇAS, 2002).

As águas de superfície (dos lagos, reservatórios e rios) e as águas subterrâneas (dos aquíferos) não são necessariamente recursos independentes. Em muitos casos há ligações entre corpos de água superficial e aquíferos. Assim, nos aquíferos aluviais, a recarga tem origem fluvial nos períodos de alta pluviosidade, enquanto que, nos períodos de estiagem, o fluxo de base dos rios é assegurado pelas águas subterrâneas. As descargas de águas de fontes são também exemplos de ligação entre água subterrânea e superficial, uma vez que depois de aflorarem à superfície do solo, essas águas incorporam-se ao escoamento superficial (FEITOSA *et al.*, 2000).

Os fluxos subterrâneos nos aquíferos, livres ou confinados, percorrem trajetórias mais ou menos longas, dirigindo-se dos setores de potenciais hidráulicos mais elevados para aqueles, comparativamente, mais baixos. Nas condições específicas de aquífero livre, isto significa que os fluxos se realizam das colinas para os vales (FIGURA 2.2).

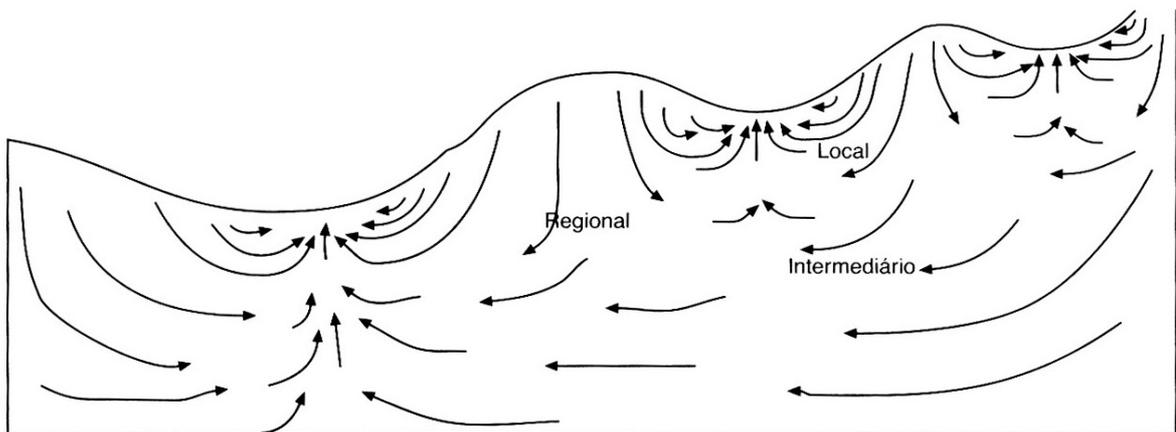


FIGURA 2.2- Sistemas de fluxos subterrâneos em bacias hidrográficas
Fonte: REBOUÇAS (2002)

Os fluxos subterrâneos locais percorrem pequenos trajetos no subsolo e descarregam nas imediações das áreas onde ocorreram as infiltrações ou recargas. Outros fluxos percorrem caminhos mais longos, constituindo um sistema de dimensão intermediária ou regional. A consideração do sistema de fluxos

subterrâneos é a base da inserção das águas subterrâneas no gerenciamento integrado de bacias hidrográficas como unidades de planejamento. Embora não haja uma coincidência física rigorosa entre divisores de água superficial e subterrânea, o sistema de fluxos no subsolo tende a configurar a compartimentação imposta pelo sistema de drenagem de superfície (REBOUÇAS, 2002).

2.1.1 IMPACTOS AMBIENTAIS SOBRE OS AQÜÍFEROS

Os problemas ambientais com as águas subterrâneas podem ser agrupados em problemas causados pela poluição e superexploração.

Uma água está poluída quando a sua composição foi alterada de tal maneira que a torna imprópria para uma determinada finalidade de uso. A deterioração da qualidade da água subterrânea pode ser provocada por inúmeras atividades do homem (IGM, 2001), como mostra a FIGURA 2.3.

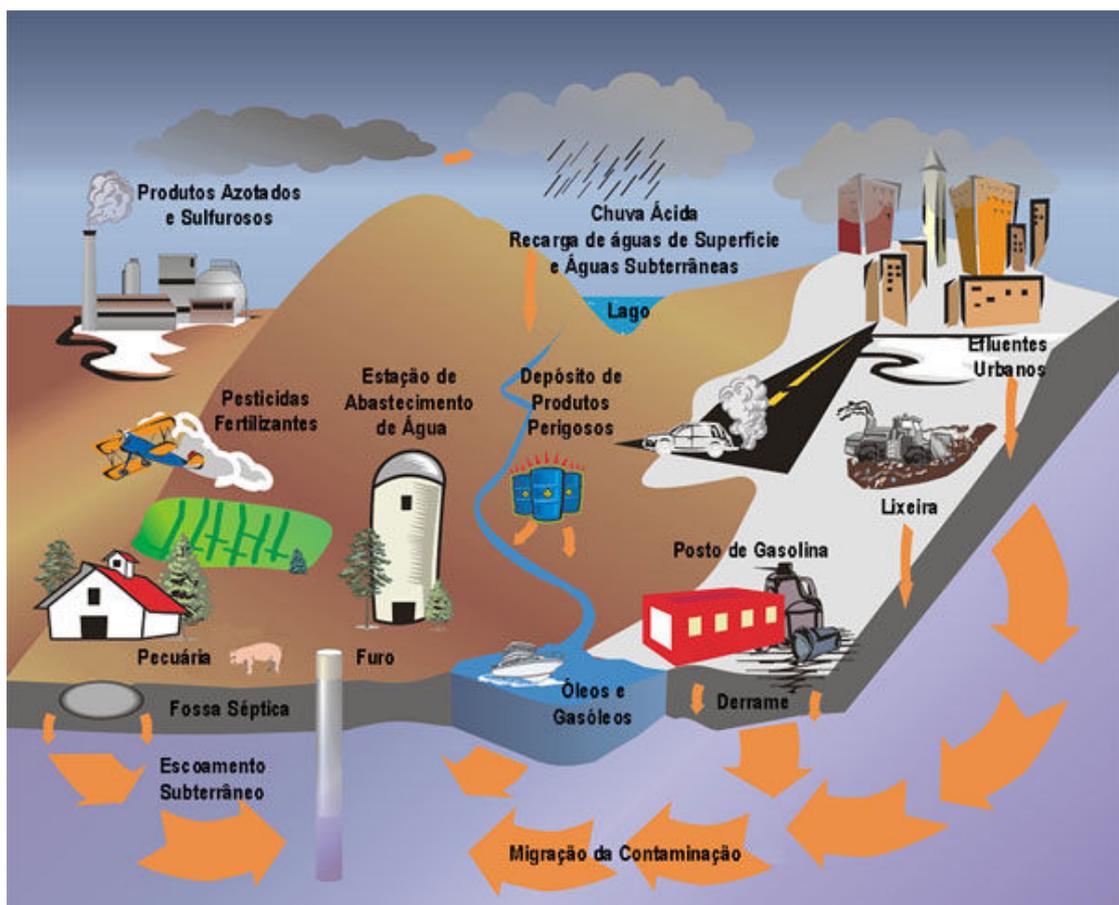


FIGURA 2.3- Poluição da água subterrânea com diferentes origens
Fonte: IGM (2001)

Em áreas industrializadas evidencia-se uma forte influência das atividades humanas na qualidade química das águas. Nas proximidades dos centros urbanos há problemas associados às seguintes descargas de poluentes: efluentes líquidos industriais e domésticos, vazamentos de depósitos de combustíveis, chorumes provenientes de depósitos de lixo doméstico, descargas gasosas e de material particulado lançado na atmosfera pelas indústrias e veículos. Nas áreas onde se desenvolve algum tipo de agricultura, a química da água pode estar fortemente influenciada pelos produtos químicos utilizados: inseticidas, herbicidas, adubos químicos, calcários e outros (ZIMBRES, 2006). O único método eficaz de controle desse tipo de poluição é o manejo integrado dos usos do solo e da água (CAPUCCI *et al.*, 2001).

Os aquíferos são menos vulneráveis à poluição do que as águas superficiais, mas, uma vez produzida a contaminação, a recuperação, dependendo do contaminante, pode levar muitos anos e até mesmo tornar-se inviável economicamente (FEITOSA *et al.*, 2000). A atenuação de contaminantes não é a mesma para todos os aquíferos. Algumas unidades oferecem melhor proteção que outras, devido às características litológicas e hidráulicas da zona não saturada. Assim, a vulnerabilidade à poluição de um aquífero é uma característica intrínseca que determina a sua sensibilidade em ser contaminado (HIRATA, 2003).

Segundo Zimbres (2006), a facilidade de um poluente atingir a água subterrânea dependerá: do tipo de aquífero, da espessura da zona de aeração (profundidade do nível estático), da permeabilidade da zona de aeração e do aquífero, do teor de matéria orgânica e do tipo de óxidos e minerais de argila existentes no solo.

Quanto à distribuição espacial, a poluição pode ser pontual ou difusa. Ela é pontual quando a fonte de contaminação está concentrada numa pequena superfície, como por exemplo, um poço tubular ou escavado, e difusa quando a fonte se estende, mesmo com baixa concentração, sobre uma grande superfície, como é o caso de áreas de irrigação, áreas urbanas, ou do transporte de poluentes por via atmosférica. Também pode ser linear, quando a fonte de contaminação é um rio ou canal (FEITOSA *et al.*, 2000).

Para assegurar suprimentos de água subterrânea para as gerações futuras, a filosofia do desenvolvimento sustentável preconiza que a extração de água de um

aquífero nunca deve exceder sua recarga (CAPUCCI *et al.*, 2001). Quando a extração de água do aquífero supera a recarga em períodos prolongados, ou quando o bombeamento está concentrado em uma pequena zona, ocorre a superexploração. As conseqüências da exploração irracional normalmente estão associadas aos seguintes problemas: redução na capacidade produtiva individual do poço ou de poços próximos; infiltração de água subterrânea de baixa qualidade advinda de unidades aquíferas mais superficiais; drenagem de rios e outros corpos de água superficiais; subsidência do terreno, que resulta em problemas de estabilidade e danos de edificações e rede de esgoto (HIRATA, 2003).

O Brasil apresenta uma deficiência séria no conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos, seu estágio de exploração e a qualidade das suas águas. A questão da vulnerabilidade e proteção dos aquíferos é um tema pouco explorado e que necessita ser incorporado à gestão das águas subterrâneas e ao planejamento do uso e ocupação territoriais (ANA, 2005).

2.2 Origem das Águas Minerais

Quase toda água subterrânea existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico, ou seja, no sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e daí para os continentes, de onde retorna, superficial e subterraneamente, ao oceano. Esse ciclo é governado, no solo e subsolo, pela ação da gravidade, assim como pelo tipo e densidade da cobertura vegetal e na atmosfera e superfícies líquidas pelos elementos e fatores climáticos, tais como temperatura do ar, ventos, umidade relativa do ar e insolação (FEITOSA *et al.*, 2000).

As águas minerais são um tipo particular de água subterrânea. Duas teorias clássicas tentam explicar a origem dessas águas especiais (FIGURA 2.4).

Pela teoria de origem meteórica, a formação da água mineral começa na atmosfera onde, sob a forma de chuva, absorve alguns elementos do ar. Ao penetrar no solo recebe a influência da zona não saturada até atingir as rochas onde sofrerá a última etapa de sua mineralização. O tempo entre a infiltração e a descarga depende da extensão percorrida, podendo chegar a milhares de anos. Sendo assim,

a composição química das águas minerais reflete a composição química das camadas geológicas percoladas (MARTINS *et al.*, 2002).

Em certos casos, as águas meteóricas não permitem explicar algumas características físico-químicas das águas minerais. Conforme Szikszay (1993), nesses casos precisa-se pensar na teoria de origem juvenil, que explica essas águas a partir de fenômenos magmáticos como o vulcanismo. A composição química das águas minerais de origem juvenil não depende da rocha de onde surgem e geralmente são do tipo hipertermal.

É também admissível uma origem mista, em que as águas meteóricas, infiltradas a grandes profundidades, receberiam em seu percurso a contribuição de água juvenil.

Segundo Martins *et al.* (2002), hoje, com os conhecimentos sobre a distribuição da água no planeta, a teoria de origem meteórica é a mais aceita, uma vez que se admite que as águas de origem juvenil constituem uma fração muito pequena do volume total.

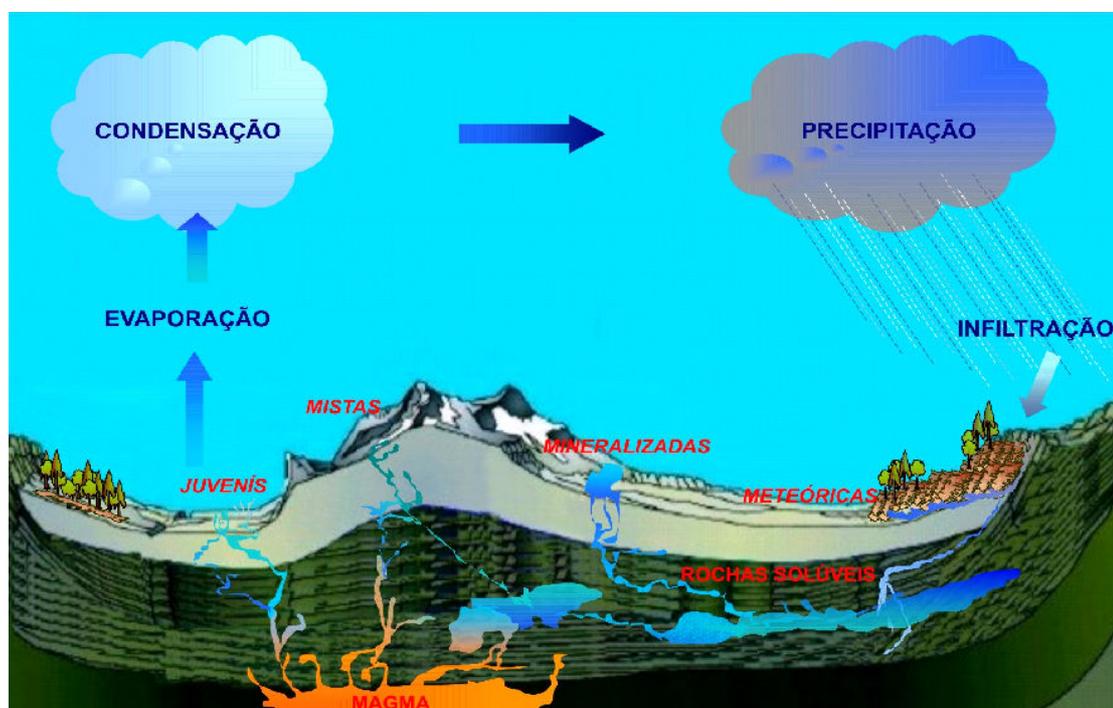


FIGURA 2.4 – Representação esquemática da formação da água mineral
Fonte: Cedido pela PÉGASUS CONSULTORIA

2.3 Aspectos Legais Relativos ao Uso da Água

Ainda que todos os tipos de águas façam parte do ciclo hidrológico, dependendo da forma de seu aproveitamento ou destinação, eles são abordados de forma diferenciada na legislação brasileira. Assim, a água é enquadrada como recurso mineral, recebendo a denominação de água mineral ou água potável de mesa, quando comercializada mediante envase, incorporada em produtos para ingestão ou usada em balneários, e é tratada como recurso hídrico quando destinada ao abastecimento público, geração de energia, irrigação, águas industriais para lavagem ou utilização / incorporação em processos industriais, entre outros (OBATA, 2005).

Como recurso mineral, a água, de acordo com a Constituição Federal de 1988, é bem da União e somente pode ser pesquisada e lavrada mediante respectiva autorização e concessão da União, no interesse nacional, por brasileiros ou empresas constituídas sob as leis brasileiras, garantindo-se ao concessionário a propriedade do produto da lavra e a obrigação de recuperar o meio ambiente degradado.

O Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227, de 27/02/1967), o Código de Águas Minerais (Decreto-Lei nº 7.841, de 08/08/1945), e suas respectivas legislações correlatas são os instrumentos legais básicos que regulam o regime de aproveitamento das águas minerais e das águas potáveis de mesa, sendo sua aplicação de competência do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), órgão vinculado ao Ministério de Minas e Energia.

Enquanto o Código de Mineração regula o regime de aproveitamento de todas as substâncias minerais, o Código de Águas Minerais trata especificamente das águas minerais em termos de classificação, pesquisa, captação, envase e características das instalações. Este dispõe, ainda, sobre a distribuição do produto e o funcionamento das empresas que exploram esse recurso mineral, além de definir como órgão central fiscalizador o DNPM, suplementado pelas autoridades sanitárias e administrativas federais, estaduais e municipais (Ministério da Saúde e Secretarias de Saúde).

No que se refere à definição das águas minerais, o Código de Águas Minerais, em seu art. 1º, as define como: “aquelas provenientes de fontes naturais

ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confirmam uma ação medicamentosa”. São também definidos no referido Código os padrões físicos, físico-químicos e as concentrações químicas mínimas para o enquadramento dessas águas como minerais. Na classificação foram levados em conta dois critérios, o das características permanentes das águas (constituição química), e o das características que lhes são inerentes somente na fonte (gases e temperatura). As águas que, mesmo sem atingir os limites da classificação estabelecidos pelo Código de Águas Minerais, mas que possuem incontestemente e comprovada ação medicamentosa (característica esta que deverá ser efetivamente comprovada no local, através de observações repetidas e de documentos de ordem clínica e laboratorial), poderão ser, também, classificadas como minerais.

As águas potáveis de mesa são definidas no art. 3º do Código de Águas minerais como: “as águas de composição normal provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que preencham tão-somente as condições de potabilidade para a região”.

De acordo com a Lei 6.938 de 31/08/1981, que estabelece as diretrizes da Política Nacional do Meio Ambiente, o aproveitamento das águas minerais depende de licenciamento ambiental do órgão específico competente, integrante do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA). Por meio das licenças ambientais, o órgão competente estabelece as condições, restrições e medidas de controle ambiental que deverão ser obedecidas pelo minerador para localizar, instalar, operar e ampliar seus empreendimentos.

Como recurso hídrico, a água é bem público da União ou dos Estados conforme os casos dispostos na legislação, e o seu aproveitamento está subordinado à Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 08/01/1997) cuja implementação está afeta à Agência Nacional de Águas (ANA) em articulação com órgãos e entidades públicas e privadas integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esta Lei contempla a gestão integrada dos recursos hídricos e adota a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, criando condições para a atuação participativa e descentralizada dos usuários no processo. A referida lei também enfoca que, a gestão dos recursos hídricos somente

será bem sucedida se levar em consideração as inter-relações existentes entre esses recursos e os demais recursos naturais.

2.4 Caracterização e Importância das Áreas de Preservação Permanente em Bacias Hidrográficas

O instrumento legal mais importante para disciplinar o uso e ocupação do solo é o Código Florestal, instituído pela Lei Federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, que, nos artigos 2º e 3º, trata das áreas de preservação permanente (APPs). Estas áreas foram criadas com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas. Segundo Araújo (2002), o regime de proteção das APPs é bastante rígido: a regra é a intocabilidade, admitida excepcionalmente a retirada da cobertura vegetal original apenas nos casos de utilidade pública ou interesse social legalmente previstos.

Mais recentemente, tendo em vista os compromissos assumidos pelo Brasil perante a Declaração do Rio de Janeiro de 1992 e a necessidade de se regulamentar o artigo 2º do Código Florestal, entra em vigor a Resolução nº 303 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 20 de março de 2002. Essa resolução estabelece parâmetros, definições e limites referentes às APPs e conforme Ribeiro *et al.* (2005) “adota, ainda que implicitamente, a bacia hidrográfica como unidade de sua aplicação”.

De acordo com o disposto no artigo 3º da Resolução CONAMA nº 303 de 2002, no âmbito deste trabalho, merecem destaque as APPs que se localizam em faixa marginal com largura mínima de trinta metros para cursos d’água com menos de dez metros de largura; com raio mínimo de cinquenta metros ao redor de nascente ou olho d’água; no topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação à base; nas linhas de cumeada, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura, em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, fixando-se a curva de nível para cada seguimento da linha de cumeada equivalente a mil metros e; em encosta ou parte desta, com declividade superior a quarenta e cinco graus na linha de maior declive. O artigo 2º da referida resolução traz as definições pertinentes ao artigo 3º.

Magalhães & Ferreira (2000), relataram que a manutenção da cobertura florestal nas áreas de preservação permanente é essencial devido às diversas funções sócio-ambientais que desempenham, tais como a dissipação de energia do escoamento superficial, a proteção das margens de rios e demais cursos d'água, a estabilização de encostas, a estabilização e manutenção de nascentes, o impedimento do assoreamento dos corpos d'água e o abastecimento do lençol freático.

As matas ciliares possuem reconhecida importância ecológica, pois são filtros naturais que auxiliam a retenção de defensivos agrícolas, poluentes e sedimentos que seriam transportados para os cursos d'água. Atuam como corredores ecológicos, unem fragmentos florestais, facilitam o deslocamento da fauna e o fluxo gênico entre as populações de espécies animais e vegetais, e protegem o solo contra os processos erosivos em regiões com topografia acidentada (BARBOSA, 2006).

Conforme Pinto (2003), não são apenas as áreas de preservação permanente relacionadas aos corpos d'água que asseguram a qualidade e a quantidade de água drenada pela bacia hidrográfica. Deve-se atentar também à proteção das áreas de recarga, de modo a assegurar uma maior quantidade de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, um maior abastecimento do lençol subterrâneo. Tais áreas estão, em alguns casos, incluídas no Código Florestal, que considera como área de preservação permanente as encostas com declividade superior a 45°; e o terço superior de morros, montanhas e linha de cumeada.

Mesmo protegidas por lei, as áreas de preservação permanente são expostas a todo tipo de agressão e vulneráveis à especulação imobiliária e atividades agropecuárias mal planejadas. Em muitos casos, são transformadas apenas em áreas degradadas, sem qualquer tipo de produção que tenha o compromisso com a sustentabilidade.

A delimitação das áreas de preservação permanente no ambiente computacional tem sido feita a partir do uso de aplicativos de sistemas de informações geográficas, como por exemplo, o IDRISI, o SPRING, o Arc/INFO e outros.

No tocante à delimitação das APPs em topos de morros, montanhas e linhas de cumeada, sua implementação tem sido, de alguma forma, complexa e difícil (MOREIRA *et al.*, 2003). A delimitação dessas áreas através de métodos analógicos é subjetiva, está condicionada à experiência do analista e é sempre passível de contestação (HOTT *et al.*, 2006). Segundo Nascimento *et al.* (2005), o monitoramento das APPs de topos de morros, montanhas e linhas de cumeada tem sido um grande desafio sob o aspecto técnico e econômico, já que os critérios de delimitação com base na topografia, exigem o envolvimento de profissional especializado e de informações detalhadas da unidade espacial analisada.

Para o delineamento de APPs em topos de morros, montanhas e linhas de cumeada, alguns esforços foram dispendidos em nível de microbacia (MOREIRA *et al.*, 2003; Ribeiro *et al.*; 2005), o que permitiu o avanço de novas técnicas e novos sistemas empregados. Hot *et al.* (2006), elaboraram um método atual para a delimitação dessas áreas compatível com a escala regional de 1:250.000.

Nos últimos anos houve uma conscientização ecológica no Brasil marcada por grandes avanços em nossa legislação ambiental. Infelizmente, muitas dessas conquistas não saíram do papel. Isso se deve basicamente a dois fatores: primeiro, à inexistência da demarcação oficial das áreas de preservação permanente; segundo, à deficiência estrutural do Estado que inviabiliza uma fiscalização ambiental efetiva em um país de dimensões continentais. Por essas e outras razões, até há pouco tempo, as áreas de preservação permanente não despertavam preocupações naqueles que usam a terra em desacordo com o Código Florestal (RIBEIRO *et al.*, 2005).

2.5 Sistemas de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto – Conceitos Gerais

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas, sempre foi importante para as sociedades organizadas. Até recentemente, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, o que impedia uma análise que combinasse diversos dados. Com o desenvolvimento da Informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, criando condições para o aparecimento do geoprocessamento (CÂMARA, 2005). Este autor também definiu que,

geoprocessamento é uma ciência que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. As ferramentas computacionais usadas para o geoprocessamento são os sistemas de informação geográfica (SIG), que permitem realizar análises complexas e automatizar a produção de documentos cartográficos. Esta tecnologia tem grande aplicabilidade nas áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional.

Um SIG, como definido por Worboys (1997), é um sistema computacional que permite adquirir, armazenar, manipular, recuperar, analisar e exibir dados geograficamente referenciados.

Silva (1994) afirmou que, um SIG deve conter funções de análises de dados que variem de álgebra cumulativa (operações aritméticas) até álgebra não-cumulativa (operações lógicas). Estas funções são utilizadas para ponderação de fatores nos cruzamentos de mapas e permitem a geração de cenários em análises de riscos, suscetibilidades e potencialidades. Um SIG normalmente integra diversos outros sistemas e tem como ponto central um banco de dados.

De acordo com Rocha (2006), os sistemas que compõem um SIG (FIGURA 2.5) podem ser divididos em:

- *Sistemas de entrada de dados*: sistema de processamento digital de imagens (PDI), digitalização de mapas, Sistema de Posicionamento Global (GPS), dados tabulares (planilhas eletrônicas) e dados estatísticos;
- *Sistemas de armazenamento de dados*: banco de dados espacial (mapas digitais) e banco de dados de atributos (alfanuméricos);
- *Sistemas de análise de dados*: sistema de análise geográfica (operações algébricas), sistema de análise estatística e sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD);
- *Sistemas de saída de dados*: sistema de exibição cartográfica (saída de mapas para a tela, impressora, plotter e arquivos digitais).

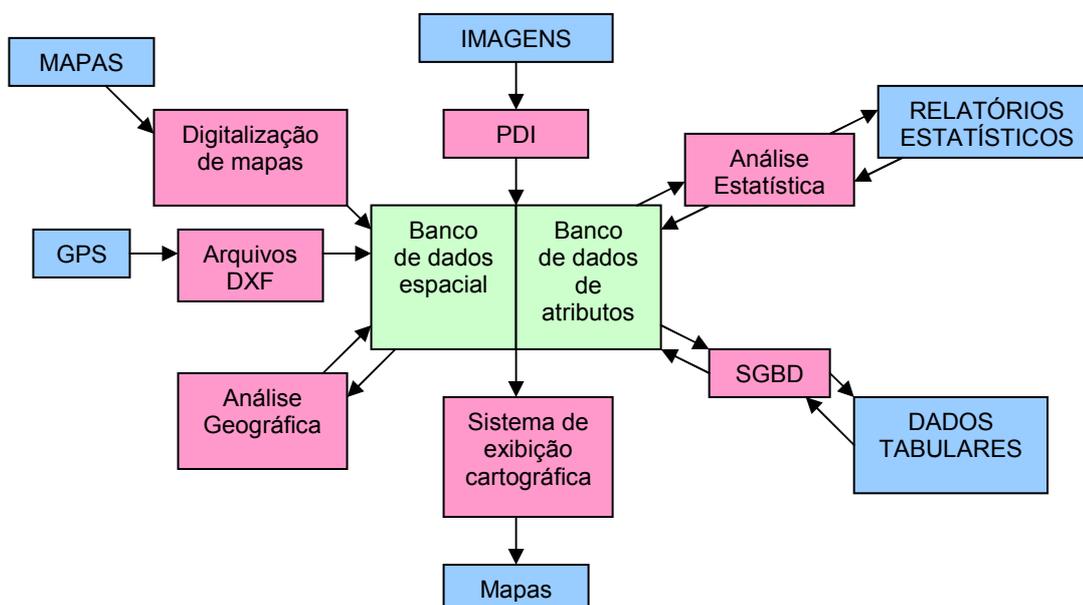


FIGURA 2.5- Sistemas que integram um SIG
Fonte: Adaptado de ROCHA (2006)

Um SIG possibilita a integração de dados espaciais em diferentes escalas, tempos e formatos. Cálculos, mapeamento, monitoramento, e modelagem de processos e feições ambientais são facilitados pelo seu uso (STAR *et al.*, 1990). O SIG deve ser visto como um sistema de apoio à tomada de decisões e como um sistema de gerenciamento de informações (CELESTINO *et al.*, 1998). A abordagem participativa é potencialmente útil para se transferir tecnologia SIG e enfoca prioritariamente os problemas dos usuários ao invés das virtudes do sistema (ROCHA, 2006). A FIGURA 2.6 mostra como o SIG se insere no processo decisório participativo de uma comunidade.

Segundo Burrough (1986), a grande importância da aplicação de SIG em estudos ambientais refere-se à possibilidade de manipular os dados de forma interativa, antecipando os possíveis resultados para a tomada de decisões e o planejamento, antes de serem cometidos erros irreversíveis na paisagem.

Em um país de dimensão continental como o Brasil, com grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo (CÂMARA, 2005).

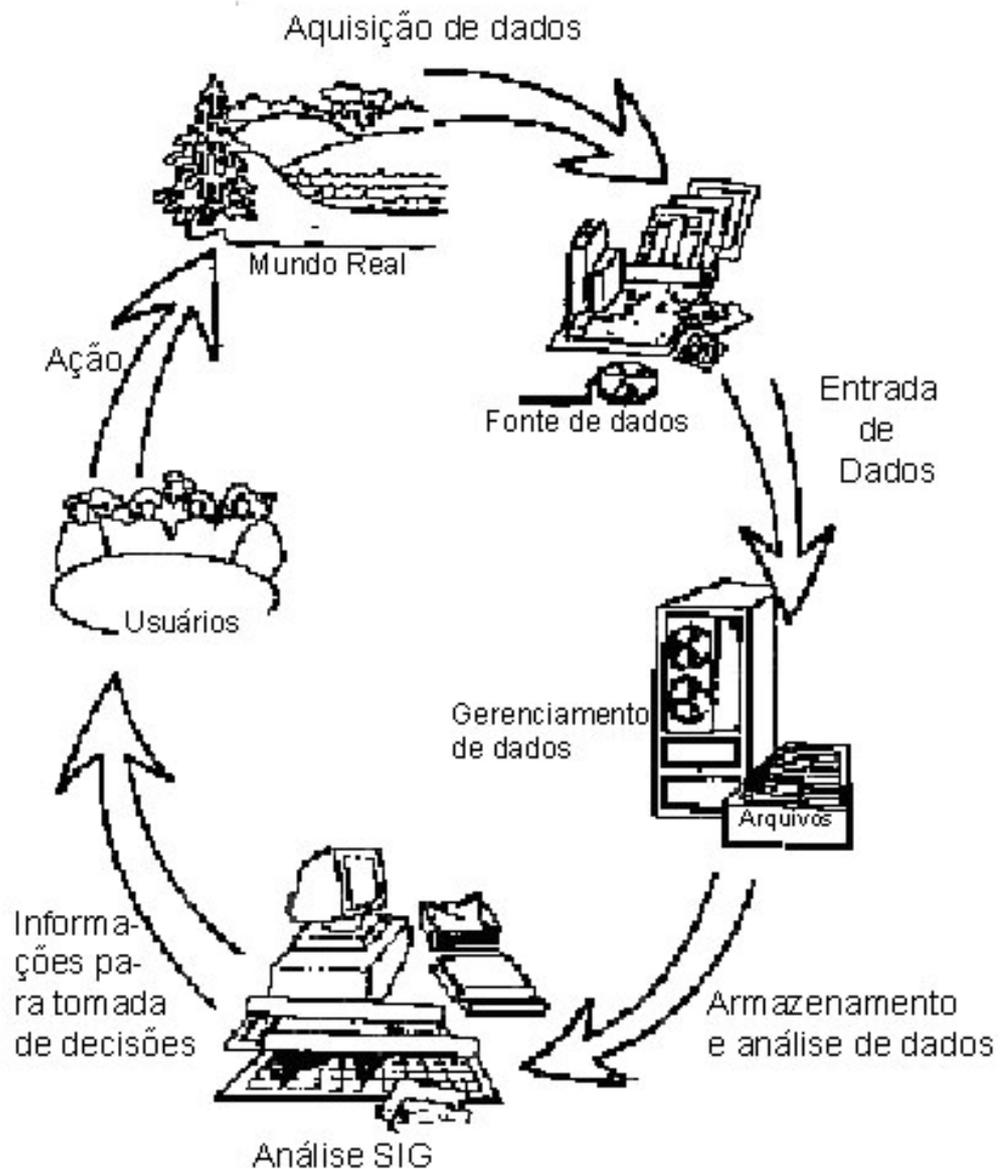


FIGURA 2.6- O SIG no contexto de tomada de decisão
 Fonte: ROCHA (2006)

Dentre as várias fontes de dados usadas em SIG, uma das mais importantes é representada pelo sensoriamento remoto. Conforme Novo (1995), o sensoriamento remoto pode ser entendido como a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem a superfície terrestre.

De acordo com Steffen (2006), o espectro eletromagnético está dividido em regiões ou bandas cujas denominações estão relacionadas com a forma com que as

radiações são produzidas ou detectadas. Nem todos os comprimentos de onda são igualmente efetivos para propósitos de sensoriamento remoto. A maior parte do sensoriamento remoto usa sensores passivos, para os quais o sol é a principal fonte de energia.

Os comprimentos de onda do verde, do vermelho e do infravermelho próximo fornecem indícios importantes a respeito da natureza de muitos materiais da superfície terrestre sem interferência relevante por parte da atmosfera. Através de técnicas analíticas é possível demonstrar que, as bandas que carregam a maior parte da informação sobre o ambiente natural são as dos comprimentos de onda do infravermelho próximo e do vermelho. A água absorve fortemente o infravermelho, o que a torna fácil de distinguir nessa região do espectro. Além disso, as espécies de plantas apresentam as maiores diferenças nesta região. A região do vermelho também é muito importante porque é a principal região de absorção de energia pela clorofila. Esta banda é a que melhor permite distinguir entre superfície com vegetação e sem vegetação (EASTMAN, 1998).

A energia eletromagnética ao atingir um objeto sofre interações com o material que o compõe, sendo parcialmente refletida, absorvida e transmitida, como mostra a FIGURA 2.7. A quantidade de energia refletida é que retorna ao sistema sensor e varia de acordo com a natureza do objeto e com a região do espectro eletromagnético na qual a medida é feita (MORAES, 2003).

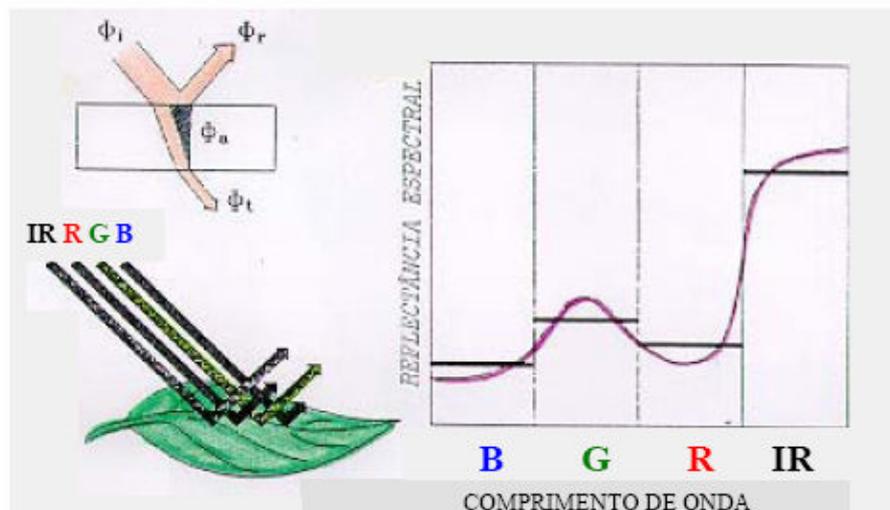


FIGURA 2.7- Interação da energia eletromagnética com o objeto
Fonte: MORAES (2003)

Uma assinatura espectral é uma descrição do grau com o qual a energia é refletida pelo objeto em diferentes regiões do espectro. Encontrar assinaturas espectrais distintas é a chave para a maior parte dos procedimentos de interpretação de imagens de sensoriamento remoto auxiliada por computador. A FIGURA 2.8 apresenta as assinaturas espectrais de alguns objetos bastante freqüentes nas imagens de sensoriamento remoto como, água, solo, vegetação e nuvens (MORAES, 2003).

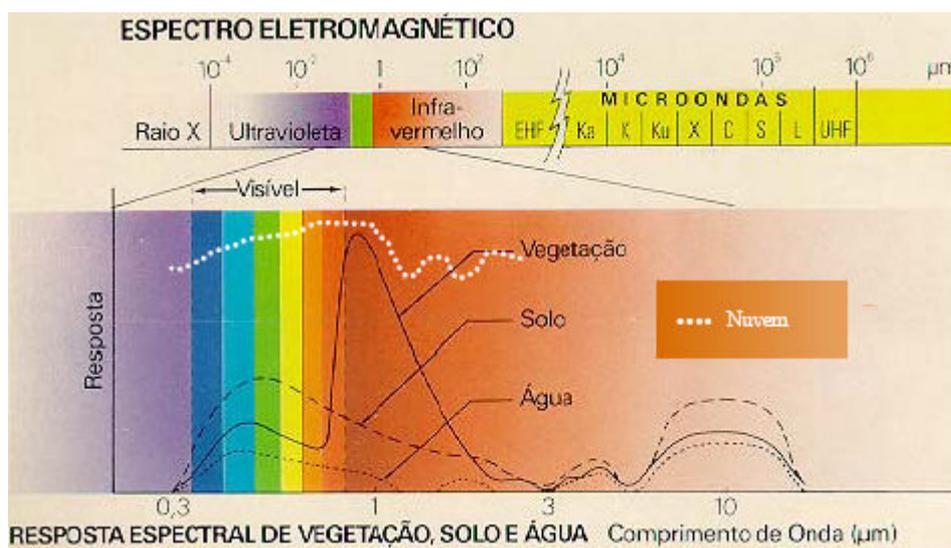


FIGURA 2.8- Assinaturas espectrais
Fonte: MORAES (2003)

Existem atualmente vários sistemas de satélites para sensoriamento remoto. O programa CBERS (Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) é um projeto conjunto entre o Brasil e a China para a construção de uma série de satélites de sensoriamento remoto que foi iniciado em 1988. Atualmente está em operação o CBERS-2, lançado em outubro de 2003. Este satélite possui um conjunto de sensores com alto potencial para atender a múltiplos requisitos de aplicações. O potencial de aplicação de um dado sensor é estabelecido em função de suas características de resolução espacial, resolução temporal, e características espectrais e radiométricas. A Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD) do CBERS-2, por possuir uma resolução espacial de 20 metros, presta-se à observação de fenômenos ou objetos cujo detalhamento seja importante. Por possuir um campo de visada de 120 km, auxilia nos estudos municipais ou regionais. Dada a sua freqüência temporal de 26 dias, pode servir de suporte na análise de fenômenos que

tenham duração compatível com esta resolução temporal. Suas bandas estão situadas na faixa do visível e do infravermelho próximo, o que permite bons contrastes entre vegetação e outros tipos de objetos. As faixas espectrais correspondentes às bandas do sensor CCD são as seguintes:

- Banda 1 = 0,45 - 0,52 micrômetro (azul)
- Banda 2 = 0,52 - 0,59 micrômetro (verde)
- Banda 3 = 0,63 - 0,69 micrômetro (vermelho)
- Banda 4 = 0,77 - 0,89 micrômetro (infravermelho próximo)
- Banda 5 = 0,51 - 0,73 micrômetro (pancromática)

Destacam-se como aplicações potenciais da CCD, dentre outras: a identificação de áreas de florestas, a identificação de campos agrícolas, a identificação de anomalias antrópicas ao longo de cursos d'água e o mapeamento de uso do solo e expansões urbanas (INPE, 2005).

CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

São Lourenço, juntamente com Caxambu, Lambari, Cambuquira e Águas de Contendas, faz parte do Circuito das Águas do Sul de Minas Gerais. A cidade comporta uma das mais completas estâncias hidrominerais do País e está situada no triângulo formado por São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. São Lourenço possui uma área de apenas 57 km² e limita-se com os municípios de Carmo de Minas, Soledade de Minas, Pouso Alto e São Sebastião do Rio Verde. Sua posição é determinada pelas coordenadas geográficas de 22° 07' 00" de latitude Sul e 45° 03' 16" de longitude Oeste (IGA, 1983). A FIGURA 3.1 apresenta a localização do município no estado de Minas Gerais.

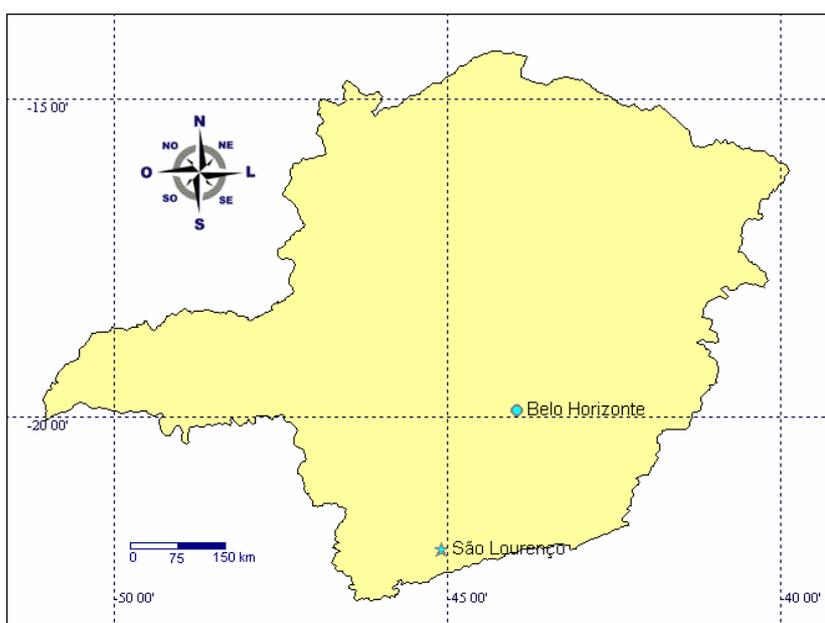


FIGURA 3.1- Localização do município de São Lourenço - MG

O espaço onde se localiza São Lourenço corresponde, geomorfologicamente, ao compartimento da Serra da Mantiqueira e à depressão do Rio Verde. Geologicamente é formado, por rochas do Proterozóico Inferior e sedimentos Cenozóicos sobrepostos.

O clima, segundo a classificação de Köppen, é o Cwb (tropical de altitude com verões suaves). Ocorrem duas estações climáticas: uma de outubro a abril, caracterizada por temperaturas mais elevadas e maiores precipitações; outra, de maio a setembro, período de inverno e estiagem. O índice pluviométrico anual gira

em torno de 1400 mm e a temperatura média é da ordem de 20,7°C. As médias das máximas e das mínimas são, respectivamente, 26,8°C e 12,3°C (IGA, 1983).

A vegetação que originalmente correspondia à floresta mista subcaducifolia tropical, apresenta-se bastante devastada, substituída principalmente por pastagens. Ocorre também, em manchas isoladas, a vegetação do tipo campos (IGA, 1983).

Quanto à hidrografia, o município de São Lourenço pertence à bacia do Rio Grande, região hidrográfica do Paraná. O Rio Verde, cuja direção geral é Sul-Norte, é o principal curso d'água do município e é afluente do Rio Grande. Os mananciais de água mineral encontram-se inseridos na bacia do Ribeirão São Lourenço, que é um tributário do Rio Verde. Este ribeirão é a principal drenagem secundária pela margem esquerda do Rio Verde e corta a cidade praticamente ao meio, passando na porção sul do Parque das Águas, onde se concentram as fontes de águas minerais.

A bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço apresenta uma área de 39,71 km² e está situada entre as coordenadas geográficas 22° 05' 40" e 22° 11' 11" de latitude sul e 45° 02' 59" e 45° 08' 11" de longitude oeste de Greenwich (FIGURA 3.2). Grande parte de sua área, aproximadamente 72%, pertence ao município vizinho, Carmo de Minas. As altitudes na bacia variam de 870 a 1300 metros.

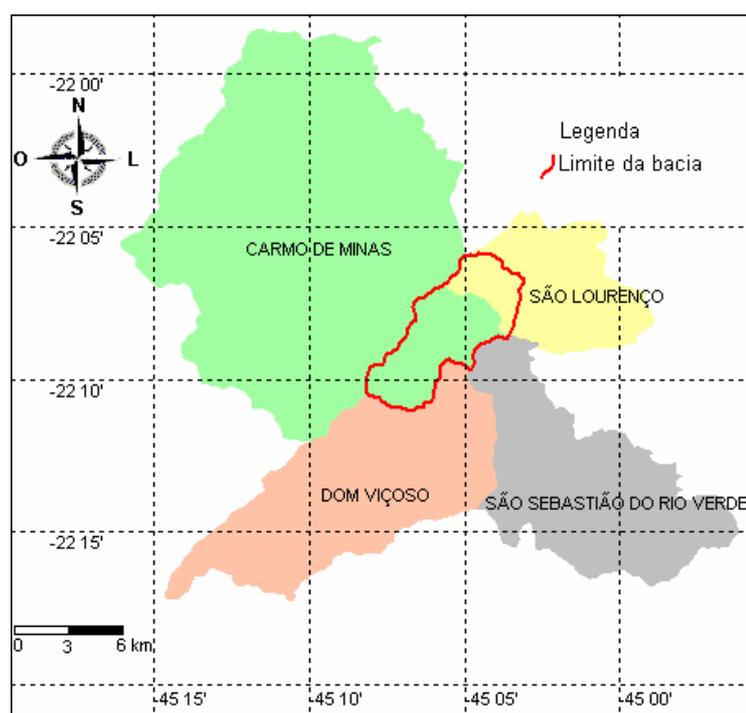


FIGURA 3.2- Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço

3.1 Aspectos Geológicos e Geomorfológicos

De acordo com a CPRM (1999a), no levantamento geológico da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço foram definidas três unidades geológicas: Grupo Paraíba do Sul (Complexo Paraisópolis), Grupo Andrelândia e Depósitos Aluvionares (FIGURA 3.3).

O Grupo Paraíba do Sul (Complexo Paraisópolis), distribui-se na borda ocidental da bacia. Nessa unidade geológica há predominância de biotita-gnaisses oftálmicos, granatíferos ou não, e granitóides, migmatizados, passando a protomilonitos e milonito gnaisses.

A ocorrência do Grupo Andrelândia é observada a leste do Ribeirão São Lourenço. Essa unidade é caracterizada pela predominância de granada-biotita-gnaisses, parcialmente migmatizados, biotita-gnaisses com ou sem cianita, intercalações de metabasitos, secundariamente cortados por veios pegmatóides.

O vale do Ribeirão São Lourenço caracteriza-se como um vale aberto, apresenta uma faixa de alagadiço considerável e deposição de sedimentos argilo-arenosos inconsolidados.

Quanto a geomorfologia, a bacia do Ribeirão São Lourenço apresenta-se em dois compartimentos distintos. O primeiro localiza-se na borda ocidental da bacia e apresenta altitudes mais elevadas. O segundo compartimento situa-se na borda oriental da bacia e caracteriza-se por morros abaulados e suaves (CPRM, 1999a).

3.2 Aspectos Hidrogeológicos

As águas minerais em São Lourenço ocorrem próximas à confluência do Ribeirão São Lourenço com o Rio Verde. As fontes situam-se relativamente próximas uma das outras e constituem o Parque das Águas, que contém reserva de mata nativa, lago artificial, balneário, áreas de lazer e uma indústria engarrafadora.

No Parque das Águas são captadas 11 fontes para uso público e engarrafamento. Os poços tubulares apresentam profundidades entre 4,0 e 164,0 metros e as vazões das fontes são obtidas através de bombeamento (TABELA 3.1).

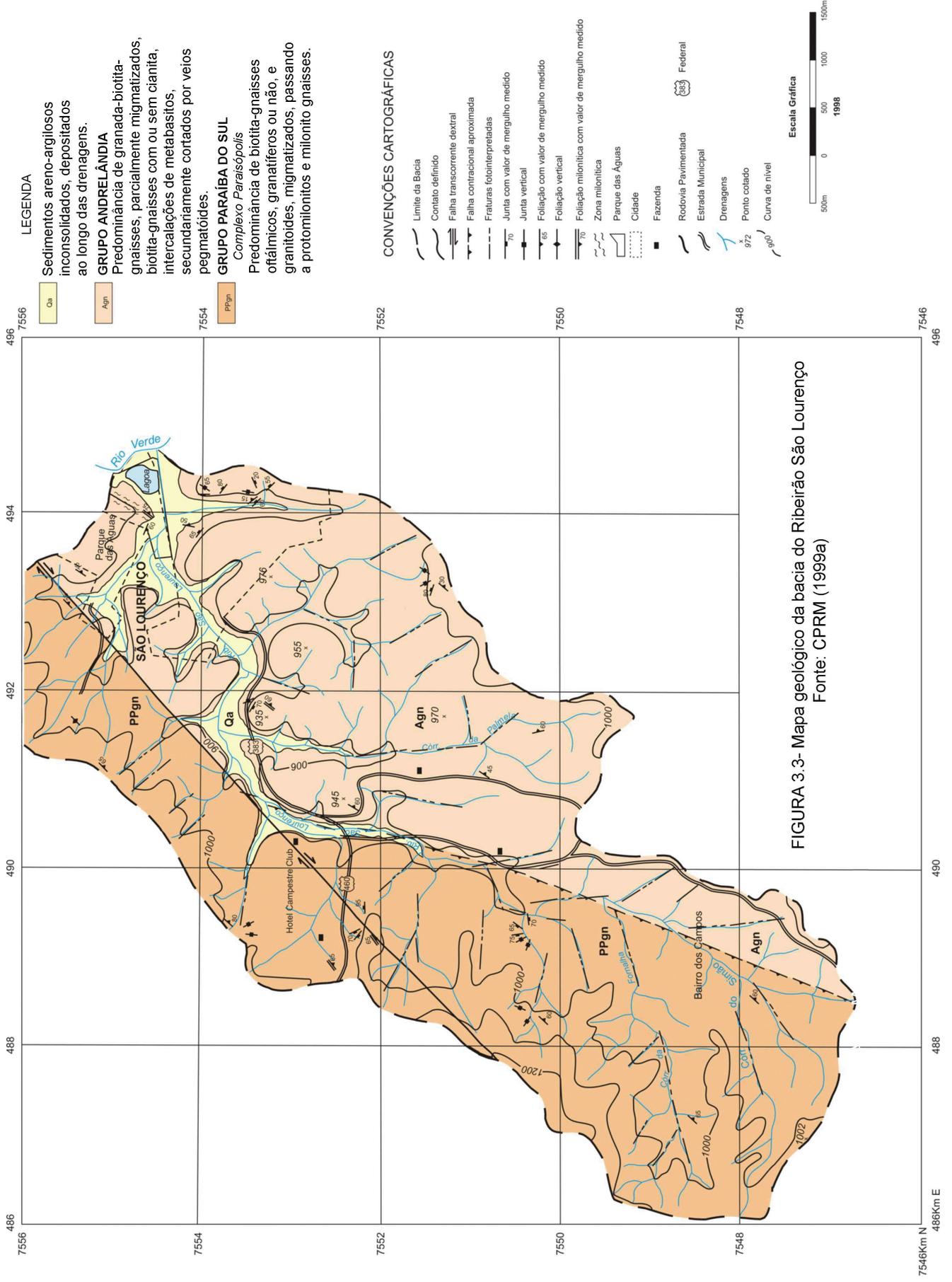


TABELA 3.1 - Características das fontes de São Lourenço (1997).

Fonte	Profundidade (m)	Vazão (l / h)
Vichy (Nova Alcalina)	21,75	140
Primavera (Ferruginosa)	4,00	420
J. Sotto Mayor (Sulfurosa)	40,00	693
Alcalina	45,70	197
Andrade Figueira (Magnesiana)	Dreno Horizontal	Sem vazão
Oriente (Gasosa)	16,40	± 10.000
J. C. Andrade (Carbogasosa)	44,00	1.510
Mantiqueira	96,60	-----
Poço 07	70,00	386
Poço 08	155,00	-----
Poço Gasoso (Poço Primavera1)	150,00	25.000 (livre)
Poço Primavera	164,00	15 – 20 (1999)

Fonte: Dados compilados da CPRM (1999a) e CPRM (1999b)

Quando foram construídas as primeiras captações, os níveis estáticos das fontes eram próximos ou acima da superfície do terreno, porém, se encontram em processo de constante rebaixamento (CPRM, 1999a).

Conforme Hirata *et al.* (1994), São Lourenço apresenta dois cenários hidrogeológicos distintos, um associado às rochas gnáissicas, em áreas topograficamente mais elevadas e outro associado aos depósitos aluvionares nas áreas de planície. As principais unidades aquíferas do Parque das Águas são os sedimentos cenozóicos e o manto de intemperismo e é possível identificar duas unidades hidrogeológicas distintas através da confrontação de dados hidrodinâmicos e hidroquímicos (FIGURA 3.4):

- *Unidade 1* – caracterizada por maior velocidade das águas subterrâneas e menores tempos de trânsito. São águas que apresentam maiores influências da recarga, através do manto de intemperismo e aportam águas menos mineralizadas.
- *Unidade 2* – caracterizada por maiores tempos de trânsito e menor velocidade das águas. Ocorre nas áreas mais próximas ao centro da bacia aluvionar

cenozóica. São águas com pouca influência da recarga de águas mais leves, são provenientes de estratos mais profundos do aquífero e estão mais próximas das áreas de descarga. Presume-se que as águas da unidade 2 sejam resultantes da evolução geoquímica das águas da unidade 1.

A geomorfologia tem forte influência na circulação e na qualidade natural das águas do aquífero sedimentar. A recarga do aquífero sedimentar se faz por toda a sua área de afloramento e através do manto de intemperismo que recobre o aquífero cristalino. Em áreas topograficamente mais elevadas, o manto de intemperismo desenvolvido sobre o embasamento cristalino permite a infiltração e a chegada das águas ao aquífero sedimentar. Áreas com declividades muito acentuadas não permitem tal infiltração, restringindo a recarga e fazendo com que quase totalidade das águas precipitadas escorra em superfície. Esta infiltração, em situação de topografia mais suave, induz a uma certa mistura das águas de menor tempo de circulação com águas mais antigas, normalmente, enriquecidas em sais e gás carbônico.

O gás carbônico, gerado pela degradação da matéria orgânica nos sedimentos aluvionares, se concentra na superfície do aquífero e nota-se um decréscimo em seus teores com a profundidade. O nível de descarga dos aquíferos está associado ao lago do Parque das Águas, ao Rio Verde e aos seus afluentes.

Para Mesquita *et al.* (2001), existem três aquíferos diferenciados no Parque das Águas: um correspondente aos fraturamentos ocorrentes na rocha, outro associado ao manto intempérico (solos) e um terceiro ligado aos depósitos aluvionares. O primeiro (fraturado) é a principal unidade de reserva das águas explotáveis; o segundo (solos) além de favorecer as taxas de recarga pela precipitação meteórica representa uma barreira físico-química contra contaminantes a partir da superfície; e o terceiro (depósitos aluvionares) desempenha a função do principal exutório das águas subterrâneas. O aquífero do tipo fraturado apresenta vários corpos impermeáveis, barreiras hidrogeológicas, que entrecortam o pacote rochoso. Estes corpos impermeáveis seccionam e delimitam o aquífero.

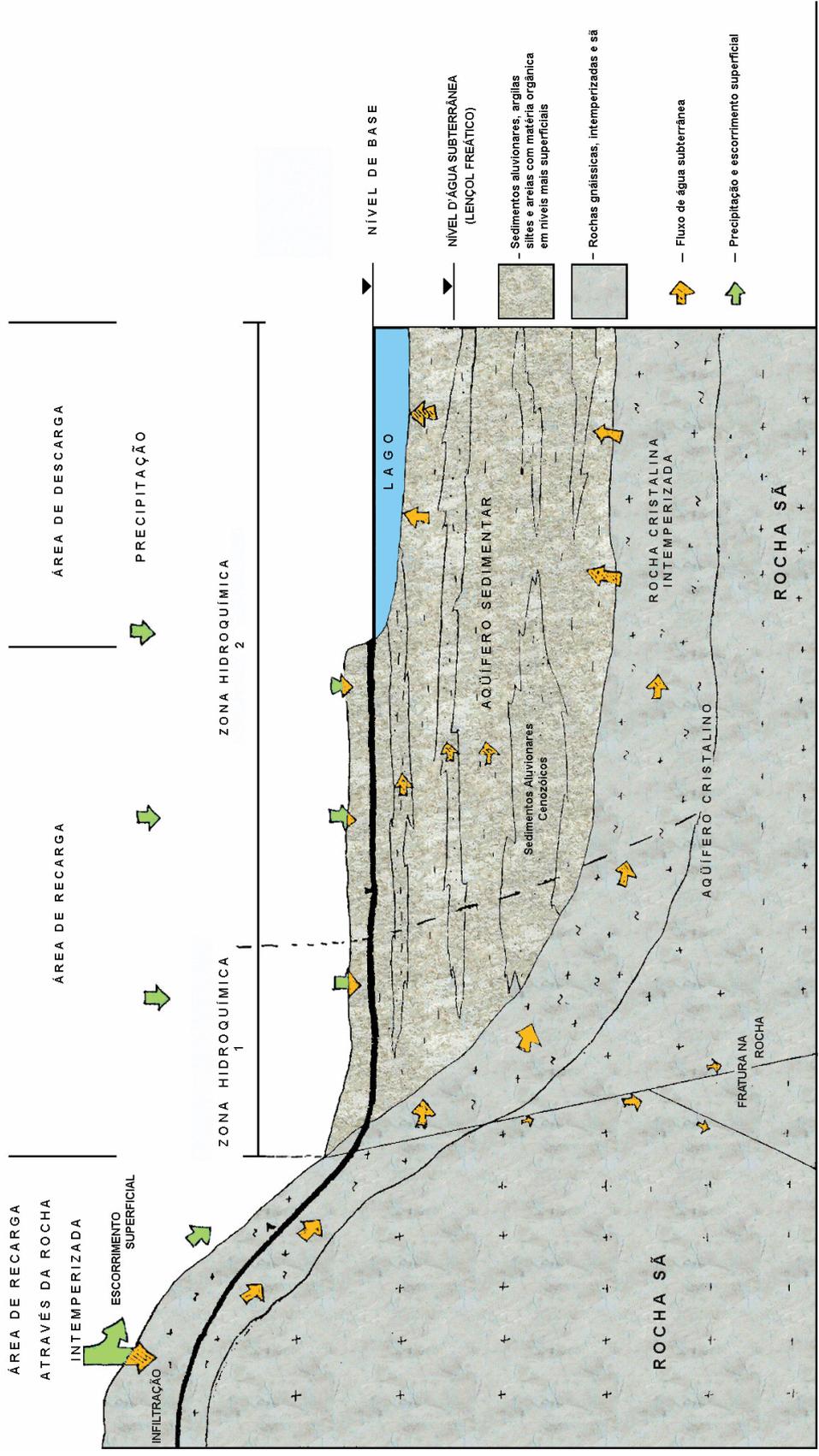


FIGURA 3.4- Modelo de circulação das águas subterrâneas no Parque das Águas e arredores
 Fonte: Adaptado de HIRATA et al. (1994), por MIGUEL FLORI GORGULHO

Segundo a CPRM (1999a), os perfis litoestratigráficos das captações hidrominerais da região do Circuito das Águas do Sul de Minas Gerais mostram um substrato de rochas gnáissicas recobertas por sedimentos cenozóicos de composição areno-silte-argilosa com níveis ricos em matéria orgânica. Os substratos rochosos encontram-se bastante alterados. Essas descrições indicam que o principal aquífero é o fraturado com a água percolando através de fraturas em rochas bastante alteradas quimicamente. Os sedimentos aluvionares argilosos e argilo-orgânicos são extremamente importantes para o semiconfinamento dos aquíferos e a composição química das águas.

Com base nos dados levantados na região, a CPRM (1999a) pressupõe para o Circuito das Águas um modelo hidrogeológico (FIGURA 3.5) de infiltração de águas pluviais nos horizontes alterados das rochas gnáissicas, em áreas topograficamente mais elevadas, próximas às fontes. Percolação através de zonas milonitizadas (São Lourenço, Caxambu, Águas de Contendas e Lambari) e fraturas parcialmente preenchidas ou não por diques pegmatóides ou brechas alcalinas (Caxambu). A circulação das águas subterrâneas se dá em diferentes profundidades e a descarga principal ocorre nas áreas topograficamente mais baixas, onde se encontram sedimentos cenozóicos formadores de aquíferos livres e semiconfinados.

Este modelo hidrogeológico é válido para todas as estâncias, já que as ocorrências hidrominerais encontram-se posicionadas sobre zonas milonitizadas de rochas gnáissicas fraturadas, preferencialmente no sistema de direção NS com NE, em áreas de baixos topográficos e de sedimentação aluvionar com presença de argila orgânica vegetal.

Provavelmente todas estas águas não são de origem profunda. Características físico-químicas, como temperaturas próximas às médias anuais do ambiente, baixos teores de cloretos, sulfatos e lítio, entre outros, reforçam esta hipótese. A existência de grandes quantidades de gás carbônico dissolvido nas águas está relacionada à presença, nos locais de descarga do aquífero fraturado, de níveis argilosos confinantes, ricos em matéria orgânica vegetal, que criam um ambiente redutor para a liberação deste gás (CPRM, 1999a).

Observações *in loco* do comportamento das fontes mostram que o lago dentro do Parque das Águas, além do atributo paisagístico, exerce um papel de contrabalanceador hidrostático das fontes e de retentor dos gases.

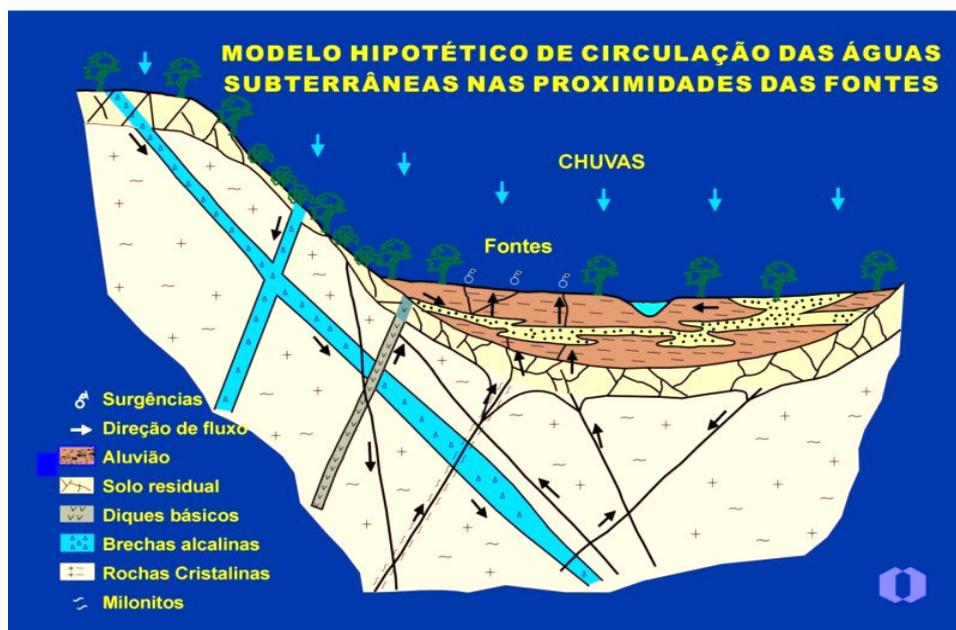


FIGURA 3.5- Modelo teórico de circulação das águas subterrâneas
 Fonte: CPRM (1999a)

Em geral, as águas minerais da região do Circuito das Águas são bicarbonatadas alcalinas, frias (média de 22,51°C), carbogasosas, não-radioativas a radioativas e algumas ferruginosas e/ou sulfurosas. Apresentam a particularidade de possuírem grandes quantidades de gás carbônico e níveis de mineralização variados, resultantes de velocidade de fluxo, tempos de trânsito e interações água-rocha ligeiramente distintos (CPRM, 1999a).

Em São Lourenço as águas minerais são do tipo bicarbonatadas sódicas (Andrade Figueira) e mistas, frias (temperatura entre 20,0 e 22,0°C), carbogasosas, não-radioativas, sulfurosa (J. Sotto Mayor) e ferruginosas (J. Sotto Mayor, Alcalina, Vichy, Ferruginosa, Poço 07, 08 e Primavera 1) (CPRM, 1999a).

3.3 Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos

Como citado no item 2.1.1 deste trabalho, o termo vulnerabilidade é aplicado para representar a caracterização intrínseca que determina a sensibilidade do aquífero em ser contaminado. Segundo Foster (1987) *apud* CPRM (1999a), a

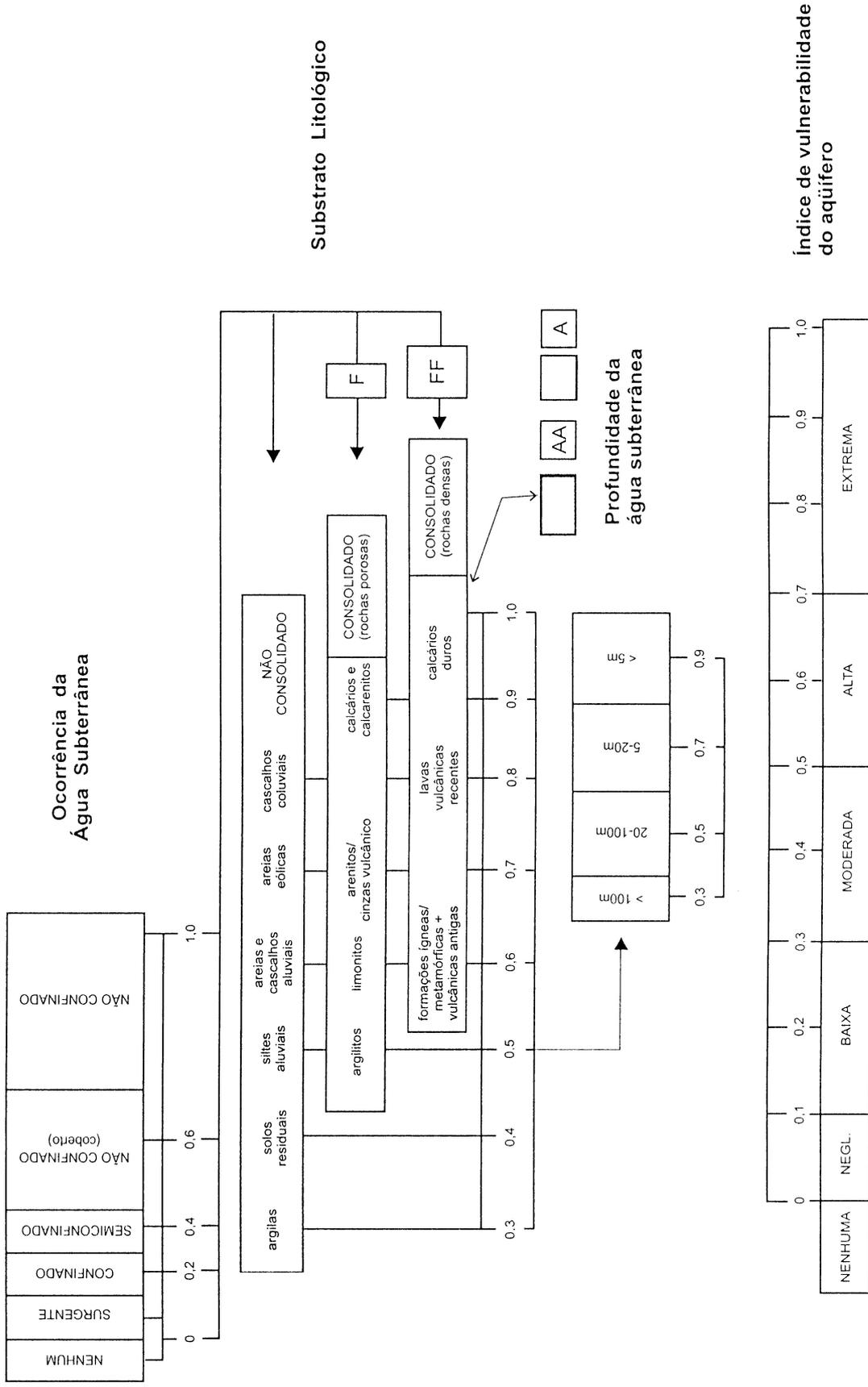
vulnerabilidade natural de um aquífero pode ser classificada com base nos seguintes parâmetros: tipo de ocorrência da água subterrânea; características litológicas e grau de consolidação dos estratos acima da zona não saturada e; profundidade do nível freático. Para cada um desses fatores é atribuído um valor na escala de 0 a 1, e o produto entre eles é o índice de vulnerabilidade do aquífero. O índice obtido está associado às vulnerabilidades que vão de nenhuma a extrema, conforme mostra a FIGURA 3.6.

A FIGURA 3.7 mostra o mapa de vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço elaborado pela CPRM (1999a), conforme o método acima descrito.

Na área de estudo predominam classes de vulnerabilidades que vão de baixa a alta, segundo as seguintes considerações:

- *Vulnerabilidade baixa*: aquíferos não confinados ou livres cobertos por solos (0,6), em sedimentos aluvionares ou formações metamórficas fissuradas (0,5 a 0,6) e com níveis freáticos menores que 5,0 metros (0,9).
- *Vulnerabilidade moderada*: aquíferos não confinados com pouca espessura de solo (0,8), em formações ígneas ou metamórficas fissuradas (0,7) e com níveis freáticos menores que 5,0 metros (0,9).
- *Vulnerabilidade alta*: aquíferos não confinados ou livres sem cobertura de solo (0,9), em formações ígneas ou metamórficas fissuradas (0,7) e níveis freáticos menores que 5,0 metros (0,9).

De acordo com a CPRM (1999a), essa classificação deverá ser considerada com cautela quando se tratar de contaminantes móveis e persistentes no solo. Outra consideração refere-se às áreas onde predominam aquíferos fraturados, o que dificulta o estabelecimento de superfícies de níveis d'água quando não se dispõe de uma densidade de dados suficientes, como é o caso da área estudada. Também pequenas obras de engenharia como tubulações de edificações, poços tubulares mal construídos e abandonados, loteamentos, ruas e estradas alterarão as condições naturais do solo e dos níveis freáticos, que ocasionarão modificações na vulnerabilidade.



(A-Capacidade de atenuação relativa, F- grau de fissuração)

FIGURA 3.6– Sistema para avaliação do índice de vulnerabilidade natural do aquífero
 Fonte: FOSTER (1987) apud CPRM (1999a)

LEGENDA

Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos

Vulnerabilidade Baixa - Aquíferos não confinados ou livres, cobertos por solos em superfície ou formações metamórficas fissuradas e níveis freáticos menores que 5,0 metros.

Vulnerabilidade Moderada - Aquíferos não confinados ou livres com pouca espessura de solo em formações ígneas ou metamórficas fissuradas ou sedimentos aluvionares e níveis freáticos menores que 5,0 metros.

Vulnerabilidade Alta - Aquíferos não confinados ou livres sem cobertura de solo em formações ígneas ou metamórficas fissuradas com níveis freáticos menores que 5,0 metros.



Produtividade do Ponto
(Vazões para poços tubulares definidas para abaixamento de nível d'água de 25 m)

A B C (A - Nascente; B - Poço Escavado; C - Poço Tubular)

- Até 3 m³/h
- Entre 3 e 10 m³/h
- Entre 10 e 40 m³/h
- Vazão estimada
- Captação de água mineral
- Poço desativado

Disposição dos Elementos do Ponto

- 1 - Número do Ponto
- 2 - Profundidade (m)
- 3 - Nível (Estático / Nível Dinâmico) (m)
- 4 - Vazão (m³/h)
- 5 - Condutividade Elétrica (μS/cm a 25°C)

Elementos Hidrogeológicos

- Contato litológico
- ⇨ Direção provável de fluxo subterrâneo
- ⇨ Falha transparente
- Falha contraccional aproximada
- Fratura foliointerpretada
- ... Fratura foliointerpretada encoberta

Convenções Cartográficas

- Área urbana
- ▭ Estrada pavimentada federal
- Limite da bacia
- Curso d'água
- Ponto cotado

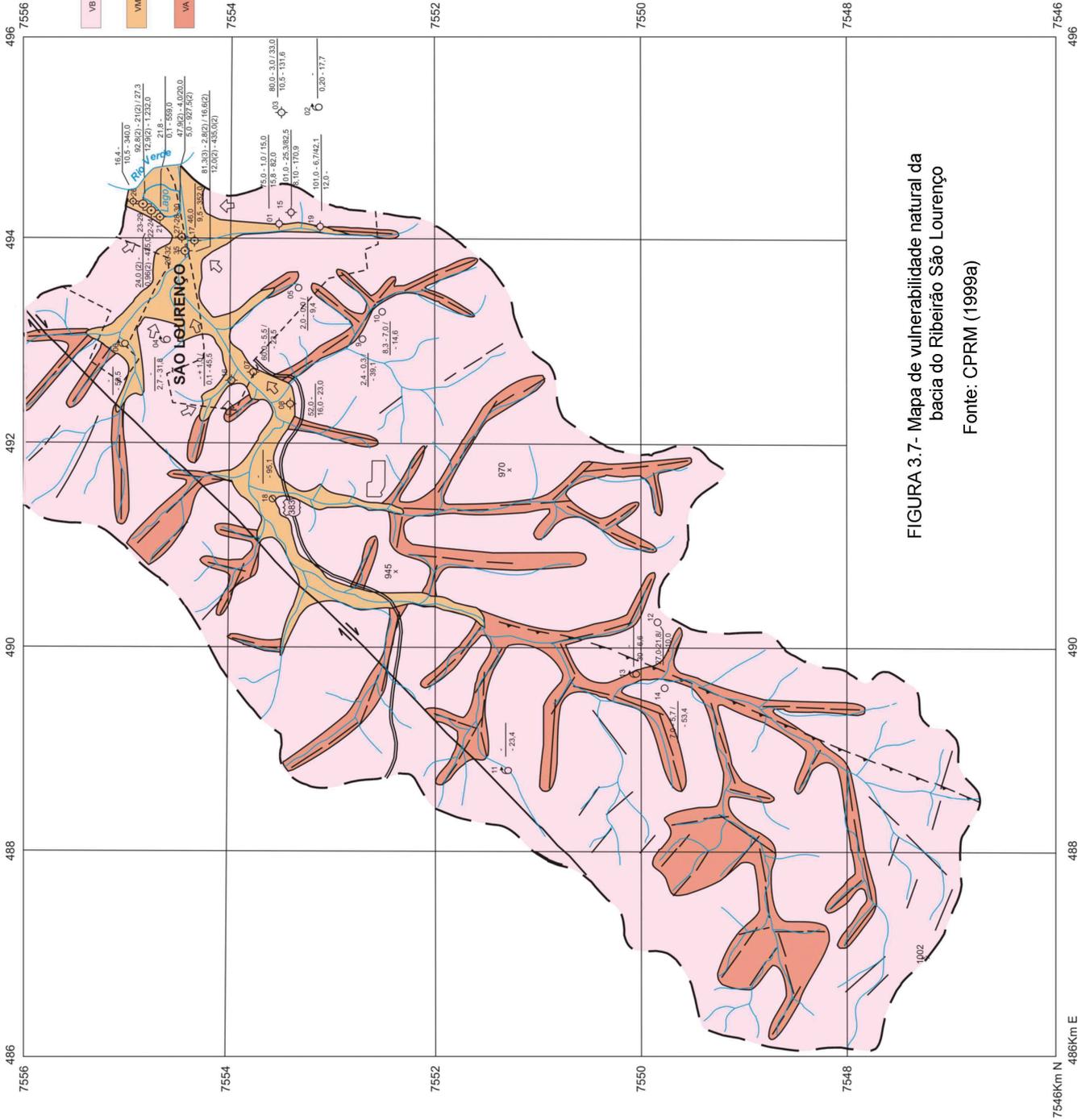


FIGURA 3.7- Mapa de vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço
Fonte: CPRM (1999a)

CAPÍTULO 4 - METODOLOGIA

Neste capítulo descreve-se a metodologia adotada no presente estudo, que está representada de forma sintética no fluxograma da FIGURA 4.1. Para a elaboração final dos mapas foi utilizado o programa Adobe Photoshop versão 6.0.

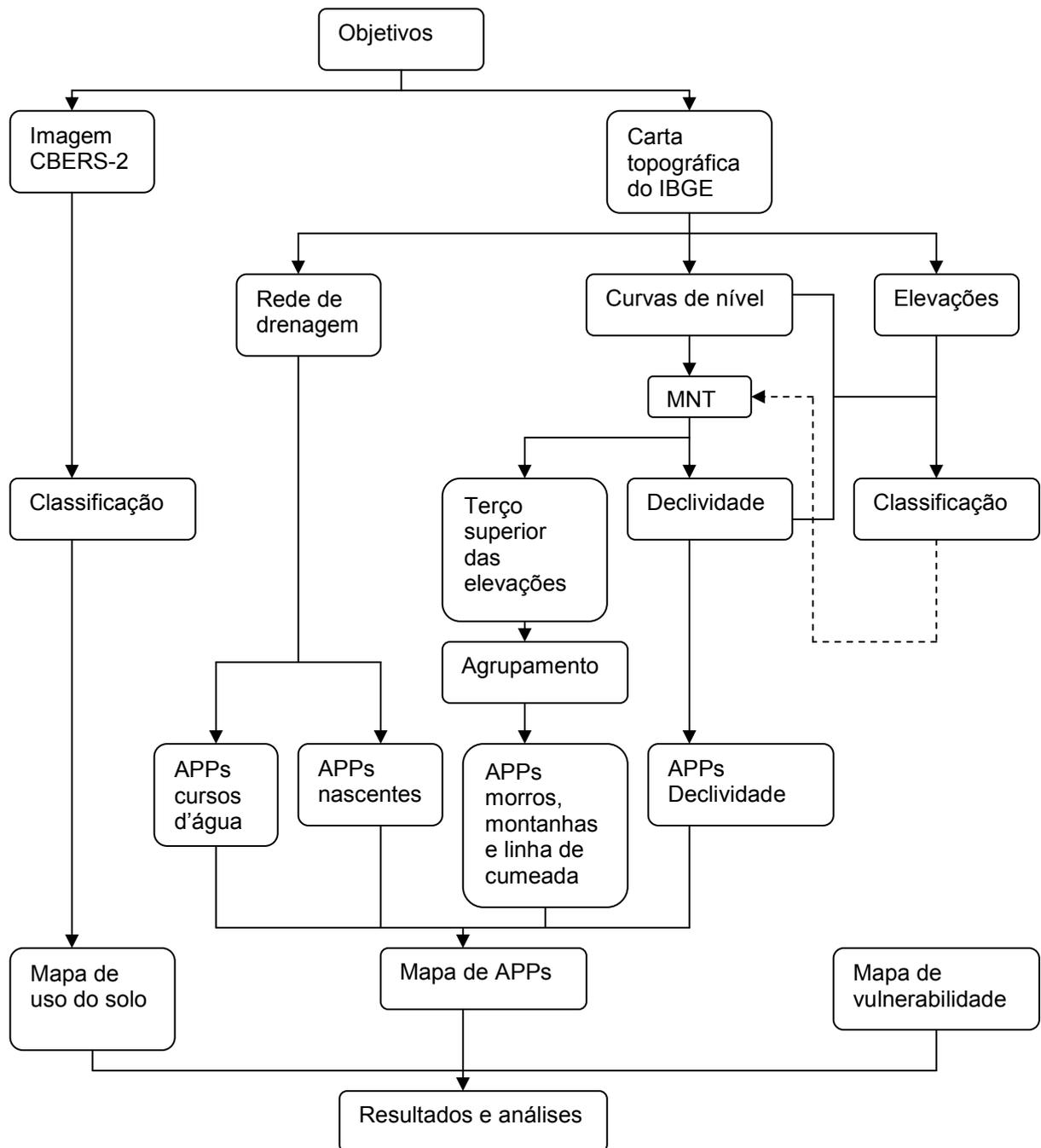


FIGURA 4.1- Fluxograma da metodologia

4.1 Mapa de Uso do Solo

Para a geração do mapa de uso do solo foram utilizadas imagens do satélite CBERS-2, sensor CCD, órbita 153, ponto 125 com data de 04 de julho de 2004. A aquisição da imagem foi feita pela Internet no *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. Foram utilizadas as informações das faixas do espectro eletromagnético correspondentes ao verde, vermelho e infravermelho próximo, ou seja, as bandas 2, 3 e 4, cujos comprimentos de onda encontram-se descritos no item 2.5 deste trabalho.

No SIG IDRISI versão 2.0 foi efetuado o georreferenciamento de cada banda para o sistema de coordenadas UTM, utilizando-se como referência a carta topográfica do IBGE, em escala 1:50.000, folha São Lourenço (SF-23-Y-B-III-2) (IBGE, 1971). Com o auxílio de um receptor GPS modelo Etrex Vista da Garmin, alguns pontos foram checados em campo.

Normalmente, o georreferenciamento de imagens de satélite é feito por meio de um processo de transformação sistemática que suavemente “empena” a imagem (através de equações polinomiais) com base nas posições conhecidas de um conjunto de pontos de controle (EASTMAN, 1998). Para obter um georreferenciamento com o menor erro possível, a escolha dos pontos de controle foi feita obedecendo a uma distribuição uniforme destes pontos por toda a imagem. Terminado este processo, obteve-se um erro médio quadrado (RMS) total de 2,52 metros, que corresponde aos padrões aceitáveis.

O RMS total descreve o erro de posicionamento característico de todos os pontos de controle em relação à equação de melhor ajuste, ou seja, ele descreve a probabilidade com a qual uma posição mapeada poderá variar da sua localização verdadeira. De acordo com Eastman (1998), o RMS para imagens deve ser menor que 50% da resolução da imagem. Levando-se em consideração tal fato, neste trabalho, o RMS aceitável deveria ser menor que 10 metros, já que a resolução da imagem utilizada é de 20 metros.

Para análise visual, as composições coloridas fazem melhor uso das capacidades do olho humano. No IDRISI foi gerada uma composição colorida em “falsa” cor em que as bandas 2, 3 e 4 foram coloridas de verde, azul e vermelho, respectivamente.

Na classificação supervisionada, o usuário define as assinaturas espectrais de categorias conhecidas e o programa associa cada pixel da imagem à assinatura mais similar (EASTMAN, 1998). Para a individualização das principais classes de uso do solo na área de estudo, foi feito um levantamento de campo com o uso do GPS registrando-se as coordenadas de cada ponto amostrado. A partir da identificação dos temas na composição colorida foram criadas as assinaturas e realizada uma classificação supervisionada pelo método da máxima verossimilhança. Foram identificados na imagem os seguintes temas: área edificada, lago, agricultura, mata, pastagem, capoeira e várzeas.

4.2 Mapa de Declividade

No programa GPS TrackMaker Professional versão 3.8 foi feita a digitalização das curvas de nível com eqüidistância vertical de 20 metros a partir da carta topográfica do IBGE. A cada curva foi aplicado o valor de altitude correspondente. Este arquivo vetorial foi importado para o IDRISI e transformado em imagem raster. Em seguida, o relevo foi reconstruído através da interpolação de um modelo numérico de terreno (MNT).

Um MNT (ou MDT – modelo digital de terreno) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Dados de relevo, informação geológica, levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, informações meteorológicas e dados geofísicos e geoquímicos são exemplos típicos de fenômenos representados por um MNT (CÂMARA, 2005). No caso da topografia, o MNT é uma imagem onde o valor armazenado em cada célula (pixel) representa a altitude do terreno naquela posição.

A partir do MNT foi calculado um mapa de declividade no qual o declive em cada célula foi determinado comparando sua altitude com a altitude de suas células vizinhas. À semelhança do MNT, o mapa de declividade é uma imagem onde o valor armazenado em cada pixel representa a respectiva declividade.

Finalmente, o mapa de declividade foi reclassificado para 3 classes de declividade: de 0° - 17°, de 17° - 45° e declividades acima de 45°. As classes de

declividade foram assim divididas com o objetivo de fazer a classificação de morros conforme definição da Resolução CONAMA nº 303 de 2002.

4.3 Mapa de Áreas de Preservação Permanente

Para o mapeamento das áreas de preservação permanente (APPs), seguiu-se as disposições do artigo 3º da Resolução CONAMA nº 303 de 2002, citadas no item 2.4 deste trabalho. Assim, foram mapeadas as margens dos cursos d'água, com uma faixa de 30 metros, pois os cursos d'água da bacia possuem menos de 10 metros de largura; as nascentes, num raio de 50 metros; as encostas com declividade superior a 45° e; o terço superior de morros, montanhas e linha de cumeada. A cada mil metros da linha de cumeada foi considerado o terço superior do morro mais baixo.

Para a determinação das APPs ao longo dos cursos d'água, a hidrografia foi digitalizada a partir da carta topográfica do IBGE. Este arquivo vetorial foi transformado em imagem raster no IDRISI. Foi calculado um mapa de distâncias e em seguida isolada uma faixa de 30 metros de cada lado dos córregos da bacia.

Para a delimitação das APPs ao redor das nascentes, os pontos referentes as mesmas foram obtidos a partir da carta do IBGE. Foi calculado um mapa de distâncias e, a partir deste, foi delimitada uma área em torno das nascentes com raio de 50 metros.

O mapa das APPs correspondentes à declividades superiores a 45° foi obtido a partir do mapa de declividade que com o IDRISI foi reclassificado para declividades superiores a 45°.

A elaboração do mapa das APPs em topos de morros, montanhas e linha de cumeada seguiu as definições dadas pelo artigo 2º da Resolução CONAMA nº 303. Para a caracterização de morro (elevação com altura entre 50 e 300 metros e encostas com declividade superior a 17° na linha de maior declive) e montanha (elevação com altura superior a 300 metros) definiu-se como cota da base à planície por onde escoia o Ribeirão São Lourenço (880 metros de altitude). Por meio da carta do IBGE foram isoladas as elevações com altitude mínima de 50 metros. No programa TrackMaker, as curvas de nível foram sobrepostas ao mapa de

declividade. Assim foi possível analisar cada elevação em relação à declividade das encostas, como mostra a FIGURA 4.2.

O terço superior de cada elevação foi isolado a partir do MNT no IDRISI e em seguida foram feitas as sobreposições das imagens obtendo-se uma imagem com as APPs de todas as elevações. No programa TrackMaker foi traçado o perfil de altitude do divisor de águas da bacia hidrográfica. Foi possível assim considerar o terço superior do morro mais baixo a cada mil metros da linha de cumeada.

Através da sobreposição dos mapas contendo cada categoria de APP obteve-se o mapa da área de preservação permanente total da bacia do Ribeirão São Lourenço.

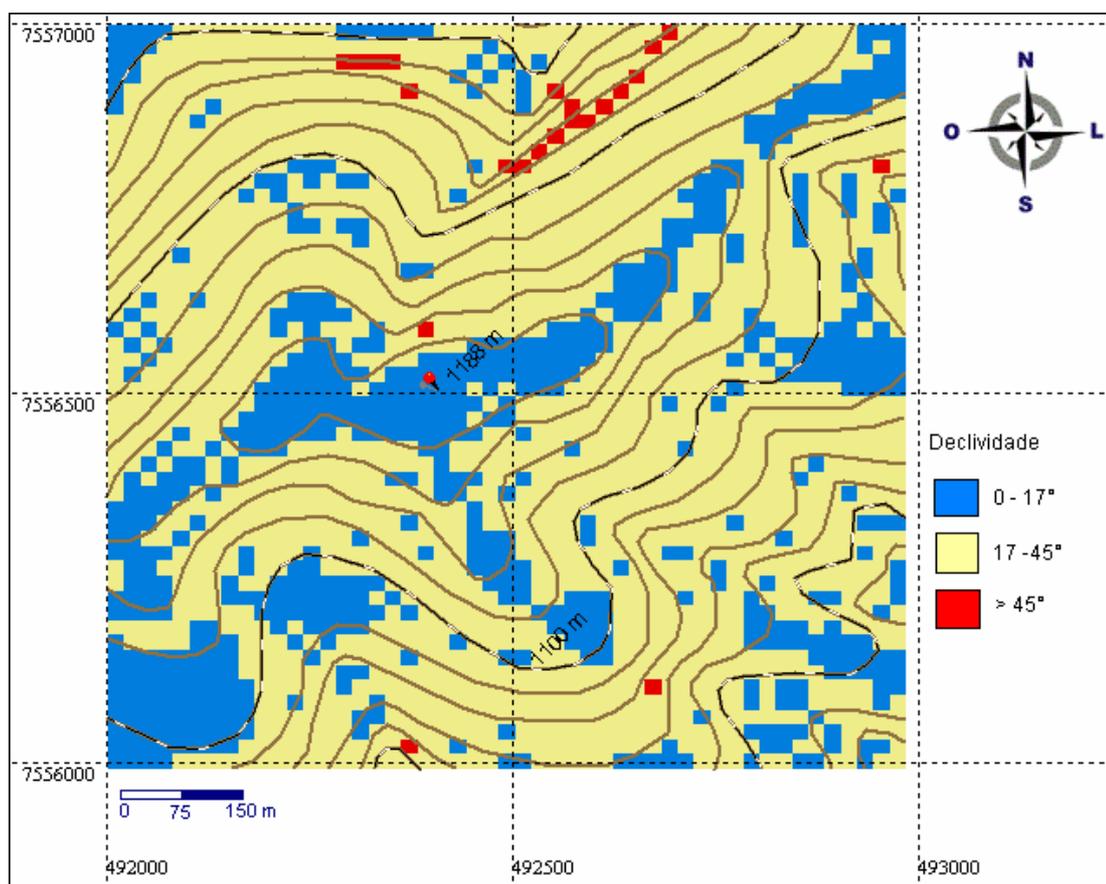


FIGURA 4.2- Detalhe das curvas de nível sobrepostas ao mapa de declividade

4.4 Análise do Uso do Solo nas Áreas de Preservação Permanente

Para se quantificar as áreas de conflito de uso do solo nas APPs da bacia, foram cruzados os mapas de APPs com o mapa de uso do solo, através de uma operação conhecida como classificação cruzada, disponível no IDRISI. As áreas de

preservação permanente ocupadas com mata, capoeira e várzeas foram consideradas uso adequado do solo. As áreas de preservação permanente ocupadas com pastagem, agricultura e área edificada foram consideradas uso inadequado do solo. Desta forma, foi possível identificar a situação atual do uso do solo em relação às restrições de uso previstas no Código Florestal e Resolução CONAMA nº 303 de 2002.

O mapa de uso conflitante do solo nas APPs foi obtido pelo cruzamento do mapa com todas as APPs da bacia e o mapa de uso do solo. Posteriormente foi feita a reclassificação para duas categorias de uso: adequado e inadequado.

4.5 Análise do Uso do Solo nas Áreas de Alta Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos

Para análise do uso do solo nas áreas de alta vulnerabilidade dos aquíferos, foi utilizado o mapa de vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço, elaborado pela CPRM (1999a), mostrado no item 3.3 deste trabalho (FIGURA 3.7). Este mapa foi importado para o IDRISI, georreferenciado, digitalizado e transformado em imagem raster. Em seguida foram calculadas as áreas referentes a cada classe de vulnerabilidade. Posteriormente foram feitos os seguintes cruzamentos de mapas:

- Mapa de uso do solo x mapa de vulnerabilidade – para identificar as classes de uso do solo nas áreas de alta vulnerabilidade.
- Mapa com todas as APPs x mapa de vulnerabilidade – para identificar as áreas de alta vulnerabilidade dentro de APPs e fora de APPs.
- Mapa com todas as APPs e áreas de alta vulnerabilidade x mapa de uso do solo – para identificar as classes de uso do solo nas APPs e áreas de alta vulnerabilidade.

CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 Uso do Solo

O impacto decorrente da alteração do uso do solo reflete em todos os componentes do ciclo hidrológico, bem como na recarga dos aquíferos e na qualidade da água (MENDES, 2001). O mapa de uso do solo é importante para o diagnóstico da bacia, pois permite uma visão integrada da ocupação atual com a extensão e localização de cada tema (SARMENTO *et al.*, 2001).

A classificação da imagem do satélite CBERS-2 (FIGURA 5.1) resultou em seis classes de uso do solo conforme mostra a FIGURA 5.2.

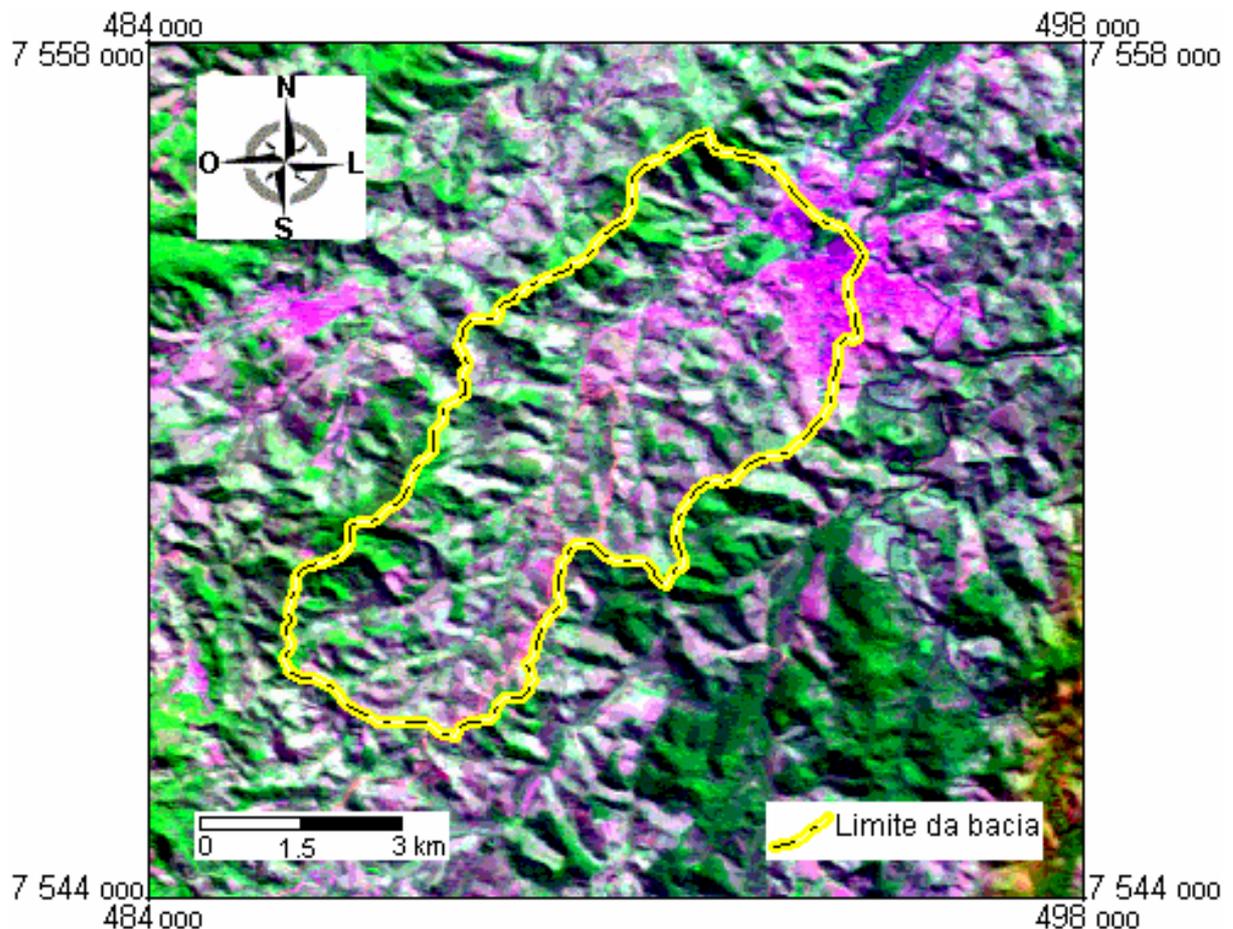


FIGURA 5.1- Composição colorida 4R 2G 3B do sensor CCD

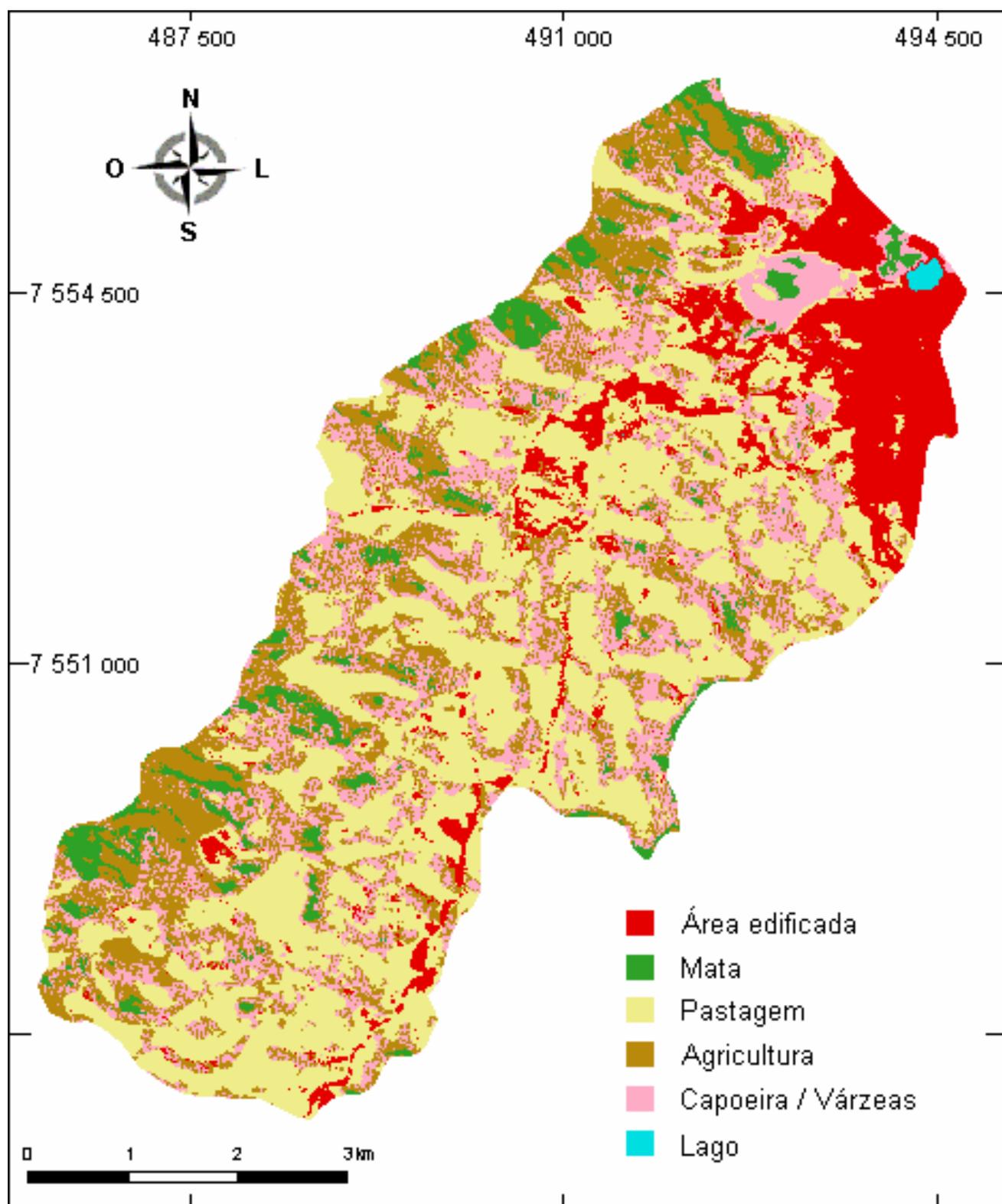


FIGURA 5.2- Mapa de uso do solo da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004

Na TABELA 5.1 encontram-se os valores de área e porcentagem das classes de uso do solo da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004.

TABELA 5.1- Área total e distribuição percentual das classes de uso do solo da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004.

Uso do solo	Área (ha)	Percentual da bacia
Área edificada	500,72	12,61
Mata	211,32	5,32
Pastagem	1.609,08	40,52
Agricultura	850,92	21,43
Capoeira / Várzeas	790,84	19,92
Lago	8,08	0,20
Total	3.970,96	100,00

Conforme mostra a TABELA 5.1, a área edificada ocupa 12,61% (500,72 ha) da área total da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço. De acordo com Karmann (2003), nestas áreas, as construções e a pavimentação impedem a infiltração, causando o aumento do escoamento superficial e redução na recarga da água subterrânea.

A área coberta por mata, que corresponde aos fragmentos florestais nativos, ocupa 5,32% (211,32 ha) da área total. A cobertura florestal confere proteção ao solo contra o impacto direto das gotas de chuva, diminuindo a velocidade de escoamento superficial e favorecendo a infiltração de água no solo. Para Silveira (1923) *apud* Mosca (2003), a vegetação exerce influência considerável sobre o regime hidrológico ao converter o escoamento superficial em escoamento subterrâneo e interceptar parte da precipitação através dos galhos, folhas e caules. Jorge *et al.* (1988) afirmaram que, as relações de equilíbrio existentes entre a vegetação primária e o solo, adquiridas ao longo de centenas ou mesmo milhares de anos, apontam este tipo de cobertura vegetal como a de maior ação de proteção.

As pastagens formam a maior área de cobertura vegetal, com 1.609,08 ha (40,52% da área total), pois a pecuária bovina de leite é predominante na região. De maneira geral, a pecuária na região é desenvolvida de forma extensiva, com pastagens de baixa produtividade. Segundo Pinto *et al.* (2005), este tipo de cobertura vegetal, quando bem cuidada, proporciona o recobrimento da superfície do solo durante o ano todo, reduzindo a velocidade do escoamento superficial, quando comparado com culturas agrícolas, que deixam o solo exposto durante o

preparo do solo para o plantio. Entretanto, as pastagens quando mal manejadas, levam a compactação dos solos diminuindo a infiltração e afetando a vazão das nascentes.

O plantio de culturas agrícolas ocupa 21,43% (850,92 ha) da área da bacia hidrográfica e, em grande parte é representado pela cultura do café.

A área de capoeira e várzeas encontrada foi de 19,92% (790,84 ha). Capoeira representa a vegetação em estágio inicial a médio de regeneração.

A classe lago ocupa 8,08 ha, o que corresponde a 0,20% da área da bacia.

5.2 Declividade

A declividade dos terrenos de uma bacia hidrográfica exerce grande influência sobre a velocidade do escoamento superficial. De modo geral declividades acentuadas favorecem o escoamento superficial, diminuindo a infiltração. Superfícies suavemente onduladas permitem o escoamento superficial mais lento, aumentando a possibilidade de infiltração (KARMANN, 2003).

O conhecimento da declividade de uma bacia hidrográfica é útil para o seu zoneamento quanto ao uso e ocupação do solo. Conforme item 4.2, neste trabalho as classes de declividade foram definidas com o objetivo de atender as restrições de uso e ocupação do solo impostas pela legislação ambiental. Na TABELA 5.2 encontram-se os valores de área e porcentagem das classes de declividade da bacia do Ribeirão São Lourenço e na FIGURA 5.3 suas distribuições espaciais.

TABELA 5.2- Área total e distribuição percentual das classes de declividade da bacia do Ribeirão São Lourenço.

Classes de declividade (graus)	Área (ha)	Percentual da bacia
0 - 17	3.156,04	79,48
17 - 45	812,72	20,46
Acima de 45	2,20	0,06
Total	3.970,96	100,00

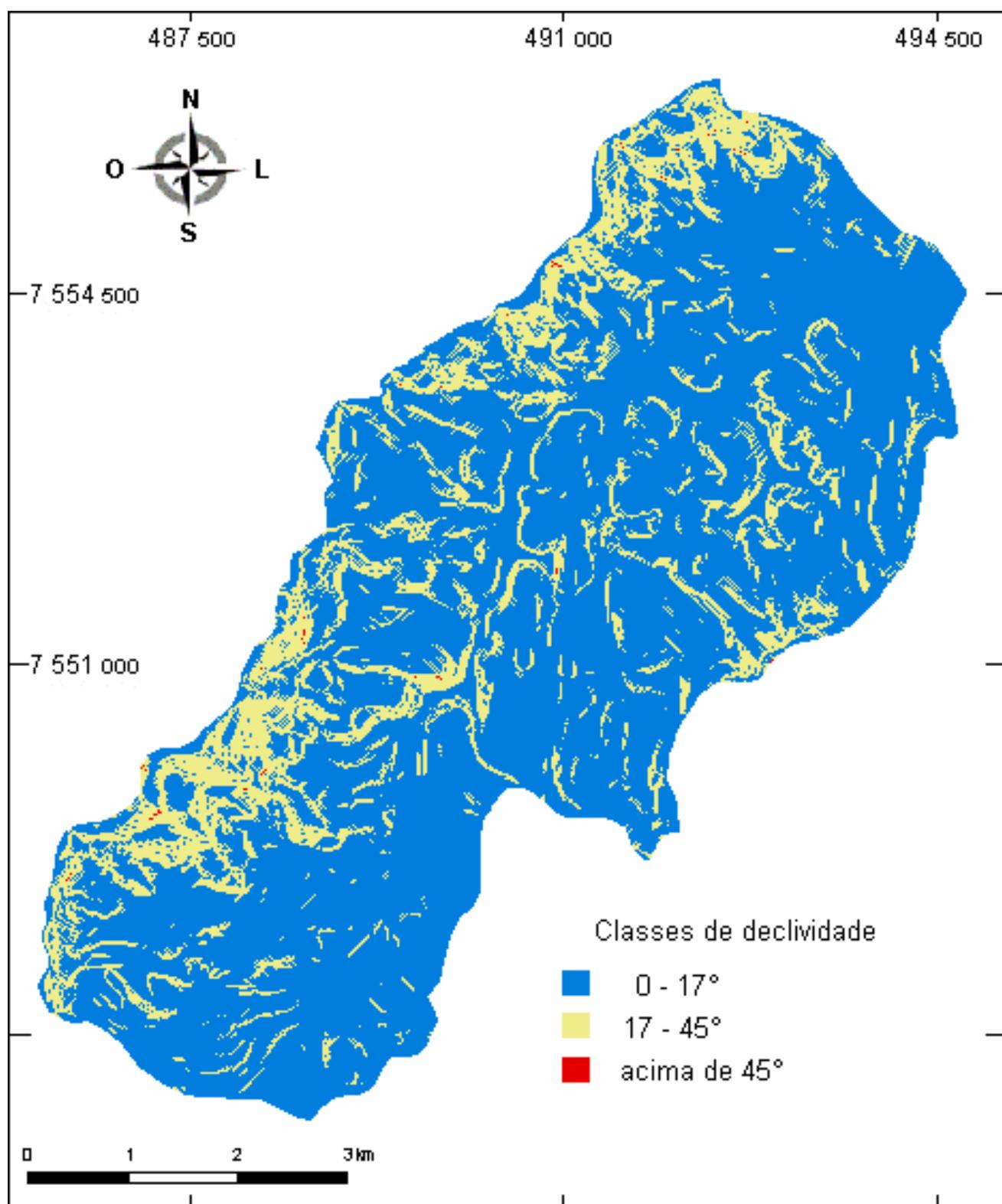


FIGURA 5.3- Mapa de declividade da bacia do Ribeirão São Lourenço

Pelos dados da TABELA 5.2 observa-se que na área de estudo predominam declividades entre 0°–17°, que ocupam 79,48% (3.156,04 ha) da área total da bacia. Uma área de 812,72 ha (20,46%) apresenta declividades entre 17°- 45°. As áreas com declividades acima de 45° são protegidas pela legislação ambiental e ocupam 0,06% (2,20 ha) da área total da bacia.

Como exposto no item 3.2, as áreas com declividade elevada restringem a recarga do aquífero em estudo, pois quase totalidade da água precipitada escorre em superfície. Assim, as áreas de preservação permanente com declividade acima de 45°, apesar de ocuparem uma pequena proporção da bacia, são importantes para a recarga das águas subterrâneas. A cobertura florestal nestas áreas irá favorecer a infiltração de água no solo.

5.3 Áreas de Preservação Permanente

Foram delimitadas e quantificadas 4 categorias de áreas de preservação permanente na bacia estudada.

Na FIGURA 5.4, mostram-se as áreas de preservação permanente ao longo dos cursos d'água, que apresentam uma largura de 30 metros em cada margem. Isso se deve ao fato de as larguras desses córregos serem inferiores a 10 metros no período chuvoso. Essa categoria de APP ocupa 709,32 ha e representa 17,86% da área total da bacia.

As áreas em um raio de 50 metros ao redor das nascentes da bacia do Ribeirão São Lourenço totalizam 91,56 ha e cobrem 2,31% da superfície da bacia, conforme mostra a FIGURA 5.5.

Na FIGURA 5.6, apresentam-se as APPs de topos de morros, montanhas e linha de cumeada da bacia do Ribeirão São Lourenço, que somam 630,60 ha e ocupam 15,88% da área total da bacia.

As áreas com declividades acima de 45° são apresentadas na FIGURA 5.7 e ocupam 2,20 ha (0,06% da superfície total). De acordo com Pinto *et al.* (2005), esta categoria de APP, mesmo em uma área restrita da bacia hidrográfica, apresenta significativa importância para a conservação do solo e da água.

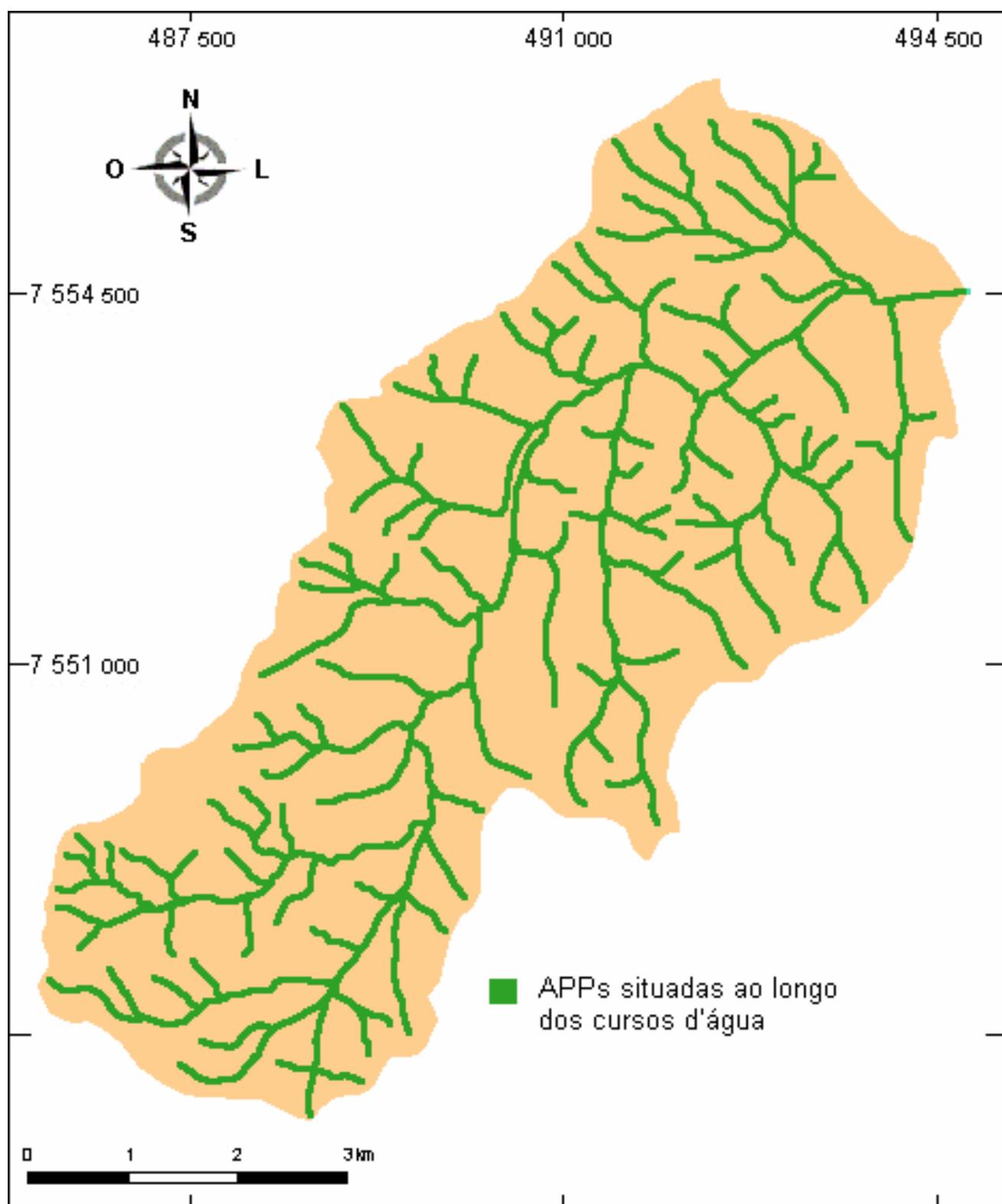


FIGURA 5.4- Mapa com as áreas de preservação permanente relativas aos cursos d'água da bacia do Ribeirão São Lourenço

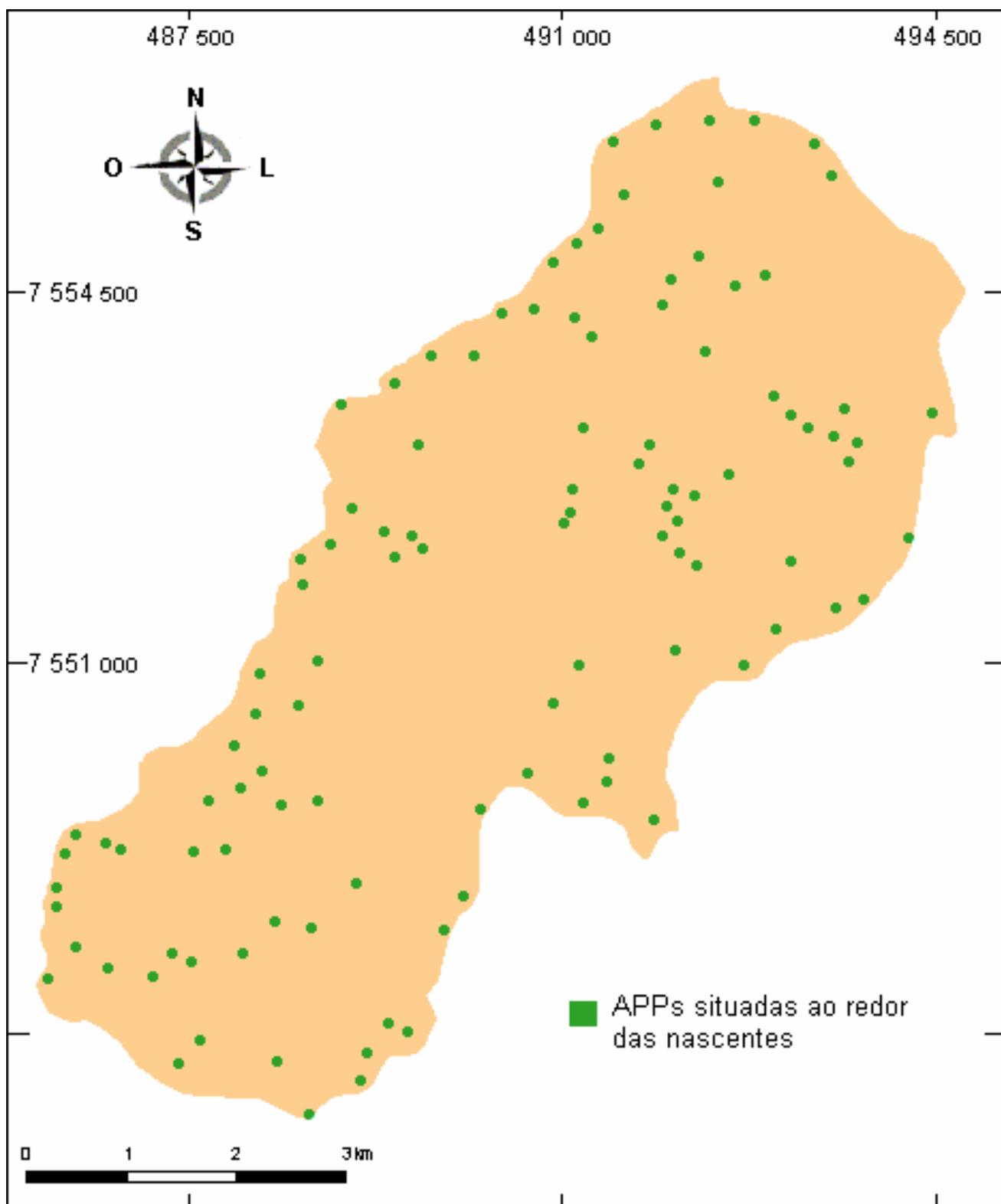


FIGURA 5.5- Mapa com as áreas de preservação permanente relativas às nascentes da bacia do Ribeirão São Lourenço

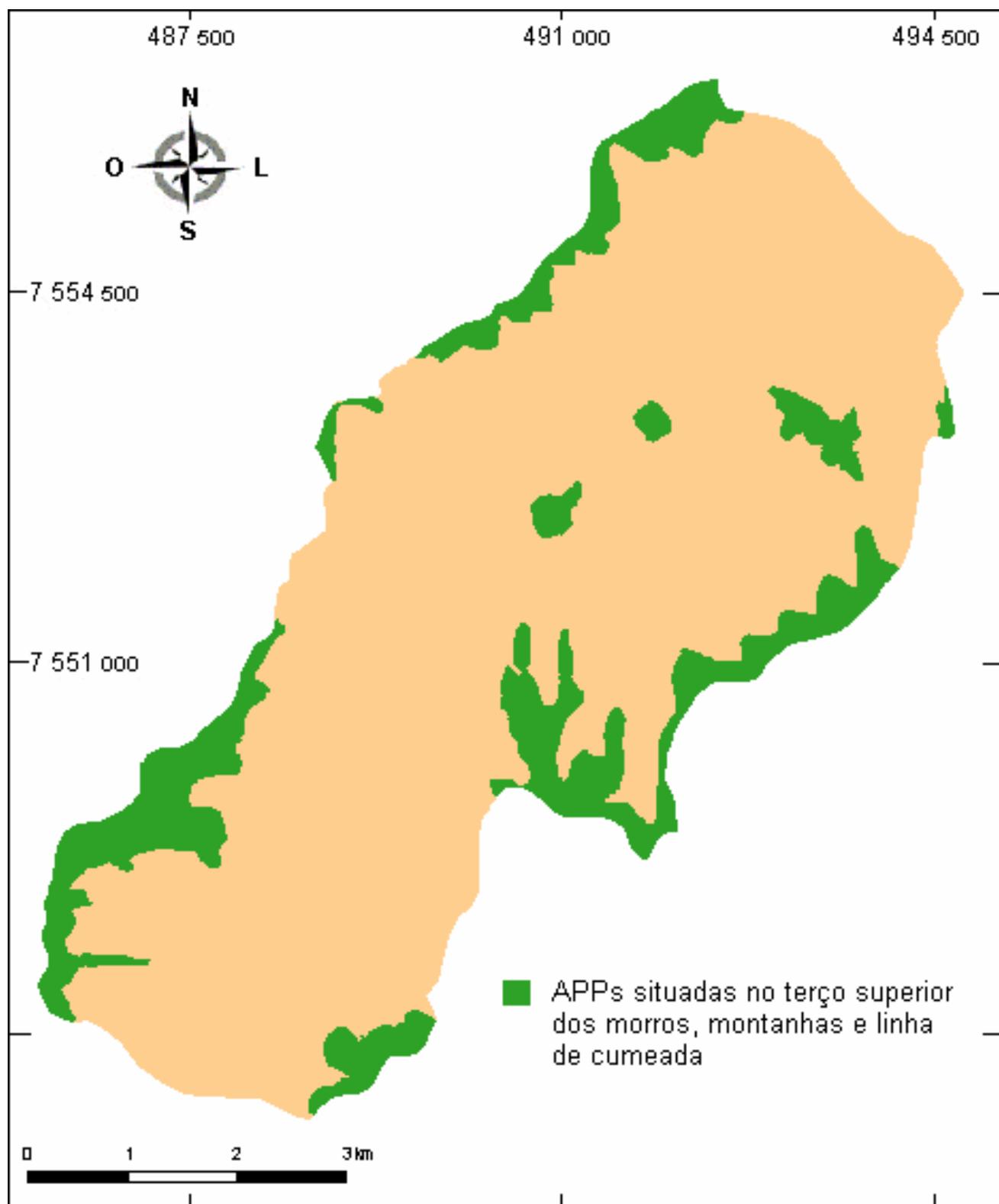


FIGURA 5.6- Mapa com as áreas de preservação permanente relativas aos topos de morros, montanhas e linha de cumeadas da bacia do Ribeirão São Lourenço

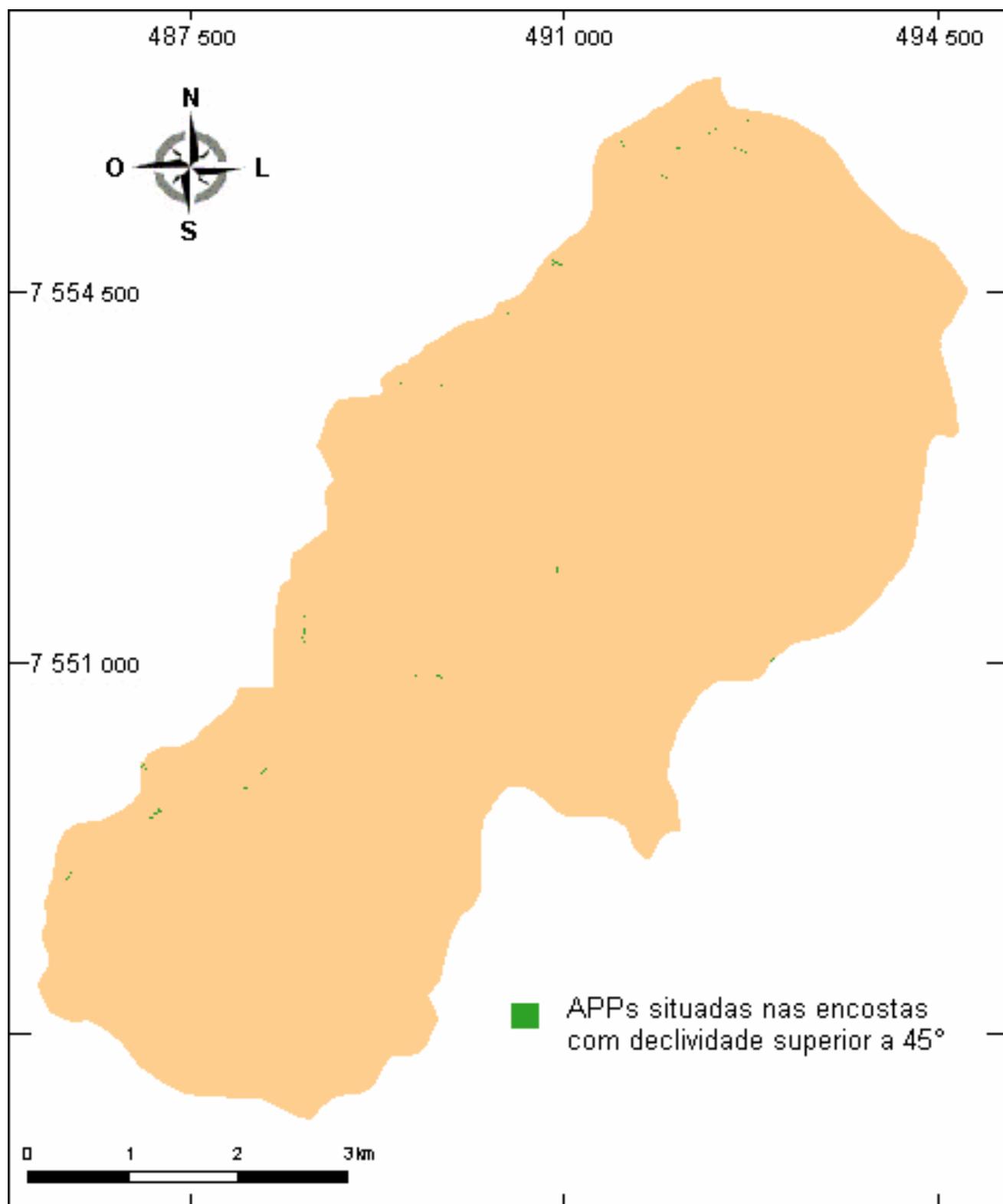


FIGURA 5.7- Mapa com as áreas de preservação permanente relativas à declividade superior a 45° da bacia do Ribeirão São Lourenço

Na delimitação das APPs de topos de morros, montanhas e linha de cumeeada, foram identificadas 17 elevações no interior e ao redor da bacia em estudo, conforme mostra a FIGURA 5.8. De acordo com a Resolução CONAMA nº 303 de 2002, das 17 elevações identificadas, apenas 2 podem ser classificadas como montanha (elevação com altura superior a 300 metros). As 15 elevações restantes se enquadram na classificação de morro (elevação com altura entre 50 e 300 metros e encostas com declividade superior a 17° na linha de maior declive).

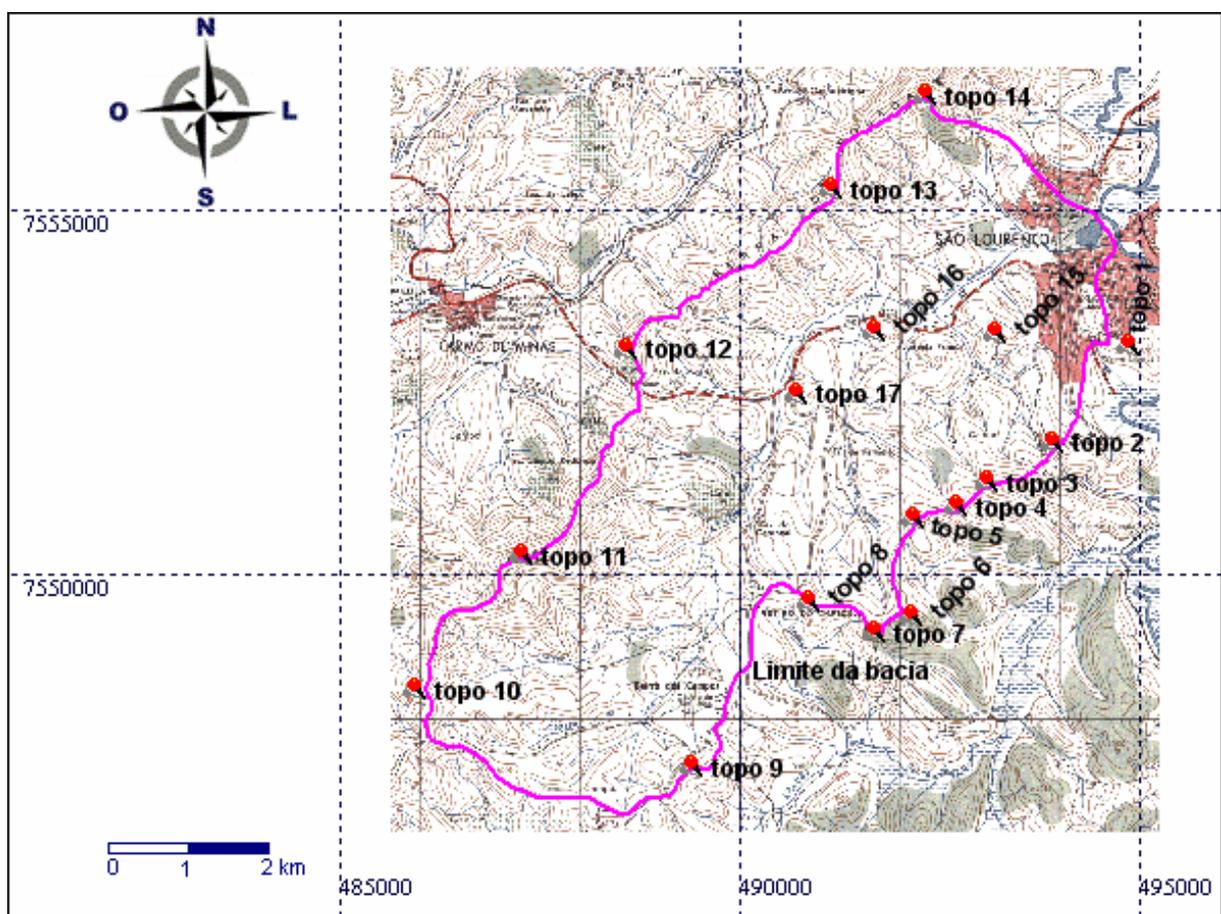


FIGURA 5.8– Localização dos morros e montanhas no interior e ao redor da bacia do Ribeirão São Lourenço

A FIGURA 5.9 ilustra a distribuição espacial de todas as áreas de preservação permanente na região estudada. De acordo com as categorias de APPs mencionadas, o Código Florestal promove a proteção de 1.328,88 ha, o que corresponde a 33,46% da área total da bacia.

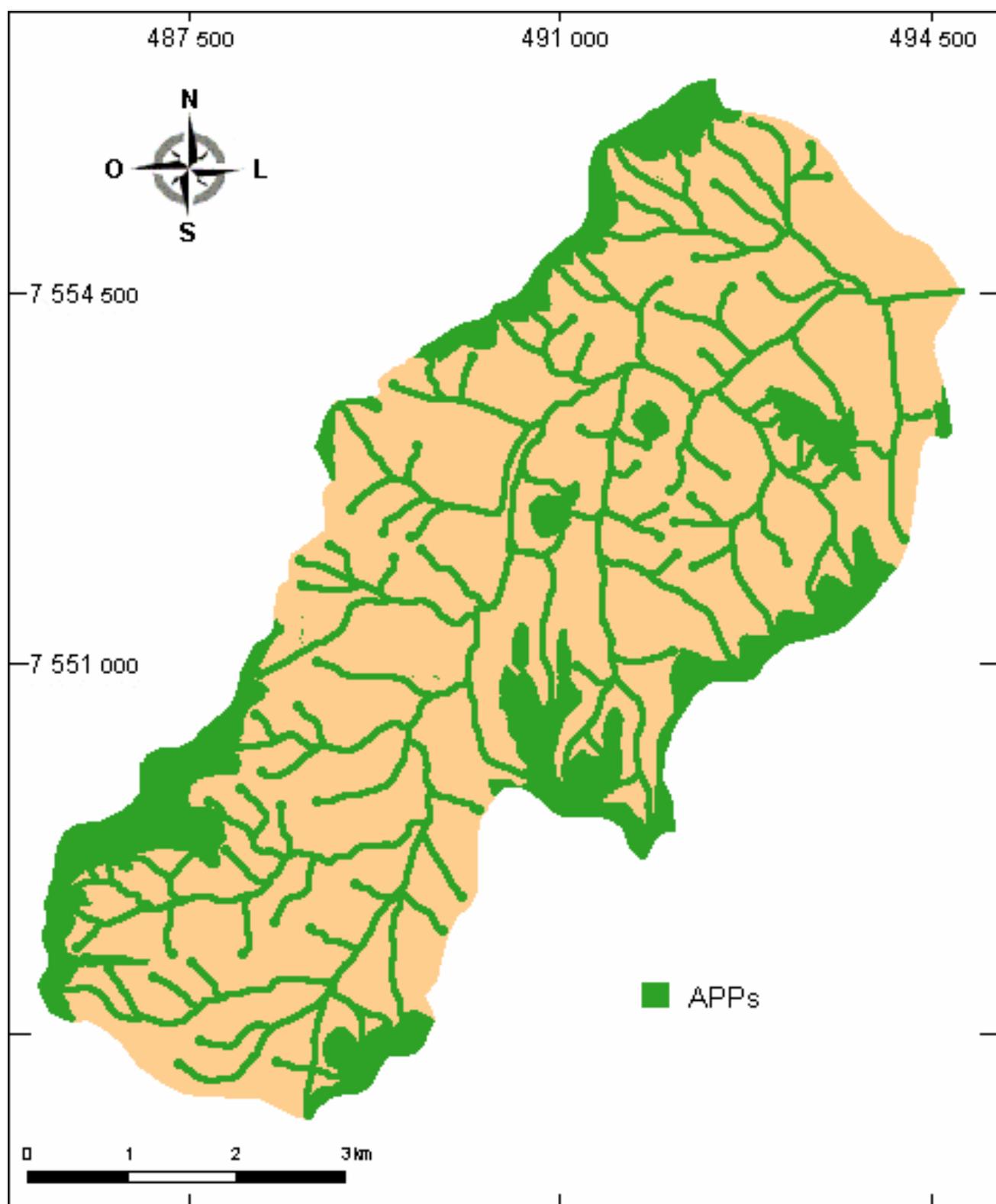


FIGURA 5.9- Mapa contendo todas as áreas de preservação permanente da bacia do Ribeirão São Lourenço

Este valor da percentagem de áreas legalmente protegidas (33,46%) encontra-se próximo ao valor encontrado por Moreira *et al.* (2003) na microbacia do Córrego Paraíso (39,02%), município de Viçosa-MG, que apresenta características topográficas semelhantes.

Na TABELA 5.3, sintetiza-se a contribuição de cada categoria de área de preservação permanente. Não são contabilizadas as eventuais superposições.

TABELA 5.3- Superfície total da bacia do Ribeirão São Lourenço protegida por categoria de área de preservação permanente.

Categoria	Área (ha)	Percentual da bacia
Cursos d'água	709,32	17,86
Ao redor de nascentes	91,56	2,31
Topos de morros, montanhas e linha de cumeada	630,60	15,88
Declividade superior a 45°	2,20	0,06

A TABELA 5.3 mostra que a preservação ao longo dos cursos d'água responde pela maior extensão das áreas protegidas (709,32 ha), seguida pela categoria de preservação do terço superior de morros, montanhas e linha de cumeada (630,60 ha). A menor participação entre as categorias de APPs corresponde às encostas com declividade superior a 45° (2,20 ha).

Com o mapeamento das áreas de preservação permanente, Ribeiro *et al.* (2005) observaram que ocorre a sobreposição entre as diferentes categorias de APPs, que formam assim, um grande corredor ecológico ao longo de todas as bacias hidrográficas. Tal fato pôde ser constatado através deste trabalho.

Segundo os mesmos autores, com o mapeamento das áreas de preservação permanente, a definição geográfica das reservas legais, previstas no artigo 16 do Código Florestal, poderá apoiar-se em critérios ecologicamente estabelecidos e contribuir para complementar lacunas e promover a melhoria na forma e função ambiental das APPs.

5.4 Uso do solo nas Áreas de Preservação Permanente

De maneira geral, as classes de uso do solo mapeadas estão parcialmente situadas nas áreas legalmente protegidas (FIGURA 5.10).

Na TABELA 5.4, encontram-se os valores das classes de uso do solo nas categorias de APPs estudadas.

TABELA 5.4- Uso do solo nas APPs das nascentes, cursos d'água, áreas com declividade superior a 45° e topos de morros, montanhas e linha de cumeada, da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004.

Uso do solo	Nascentes		Cursos d'água		Declividade superior a 45°		Topo de morro e linha de cumeada	
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
Área edificada	8,76	9,57	74,48	10,50	0,00	0,00	46,56	7,38
Mata	10,80	11,80	36,04	5,08	0,28	12,73	78,24	12,41
Pastagem	28,00	30,58	272,32	38,39	0,32	14,55	204,12	32,37
Agricultura	22,80	24,90	154,40	21,77	1,24	56,36	204,72	32,46
Capoeira/várzeas	21,20	23,15	172,08	24,26	0,36	16,36	96,96	15,38
Total	91,56	100,00	709,32	100,00	2,20	100,00	630,60	100,00

Pela análise da TABELA 5.4 verifica-se que a vegetação nativa (mata, capoeira e várzeas) cobre somente 34,95% (32 ha) da área de preservação das nascentes, 29,34% (208,12 ha) da preservação ao longo dos cursos d'água, 29,09% (0,64 ha) das APPs referentes às encostas com declividade superior a 45° e 27,79% (175,20 ha) das APPs de morros, montanhas e linha de cumeada.

As áreas de preservação permanente situadas nas margens dos cursos d'água apresentam, dentre as categorias de APPs, a maior redução em área de mata, com apenas 5,08% (36,04 ha) de sua área coberta por fragmentos florestais.

A FIGURA 5.11 mostra o conflito de uso do solo nas APPs da bacia do Ribeirão São Lourenço. As áreas de preservação permanente ocupadas com mata, capoeira e várzeas foram consideradas uso adequado do solo. As áreas de preservação permanente ocupadas com pastagem, agricultura e área edificada foram consideradas uso inadequado do solo.

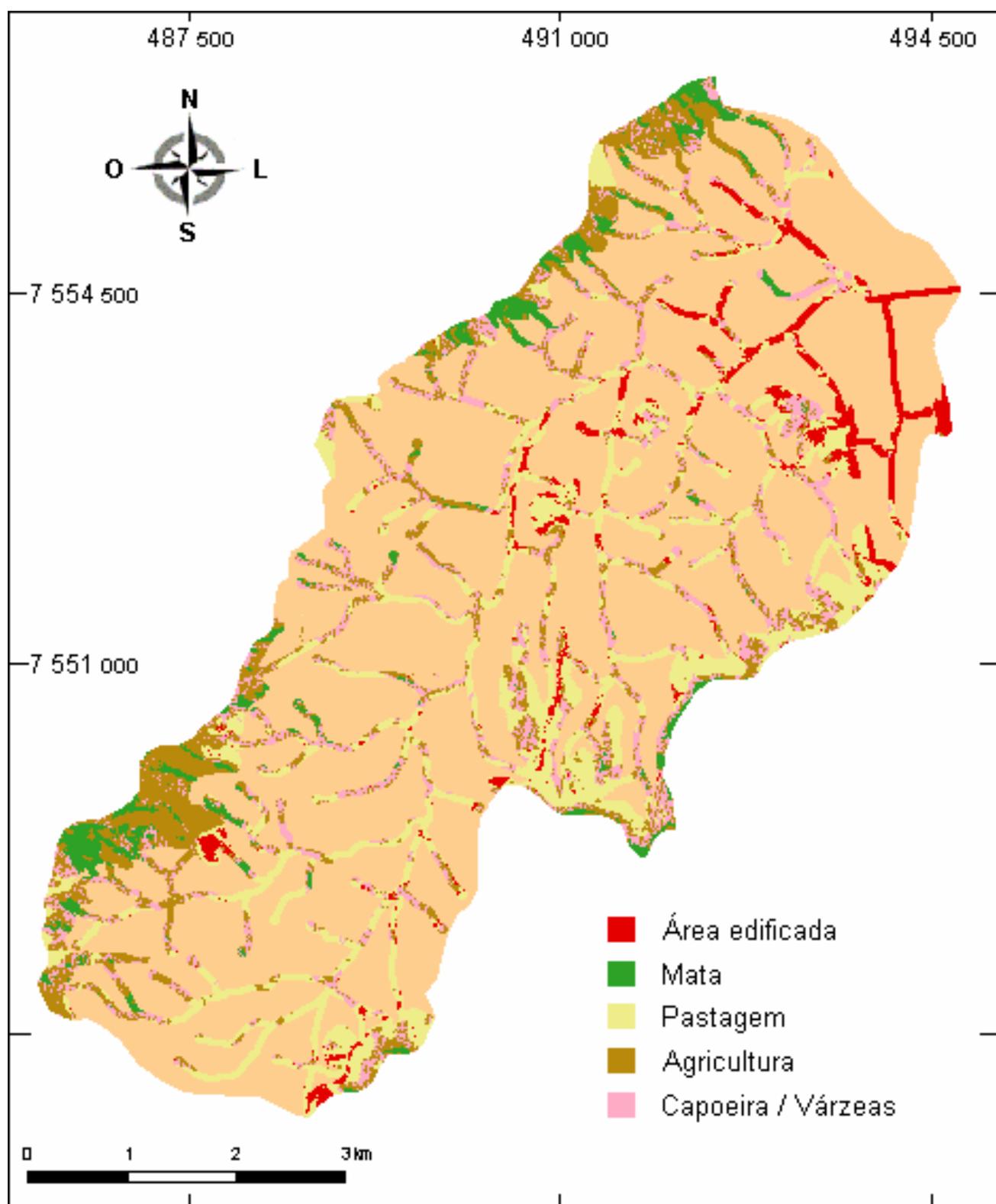


FIGURA 5.10- Mapa de uso do solo nas APPs da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004

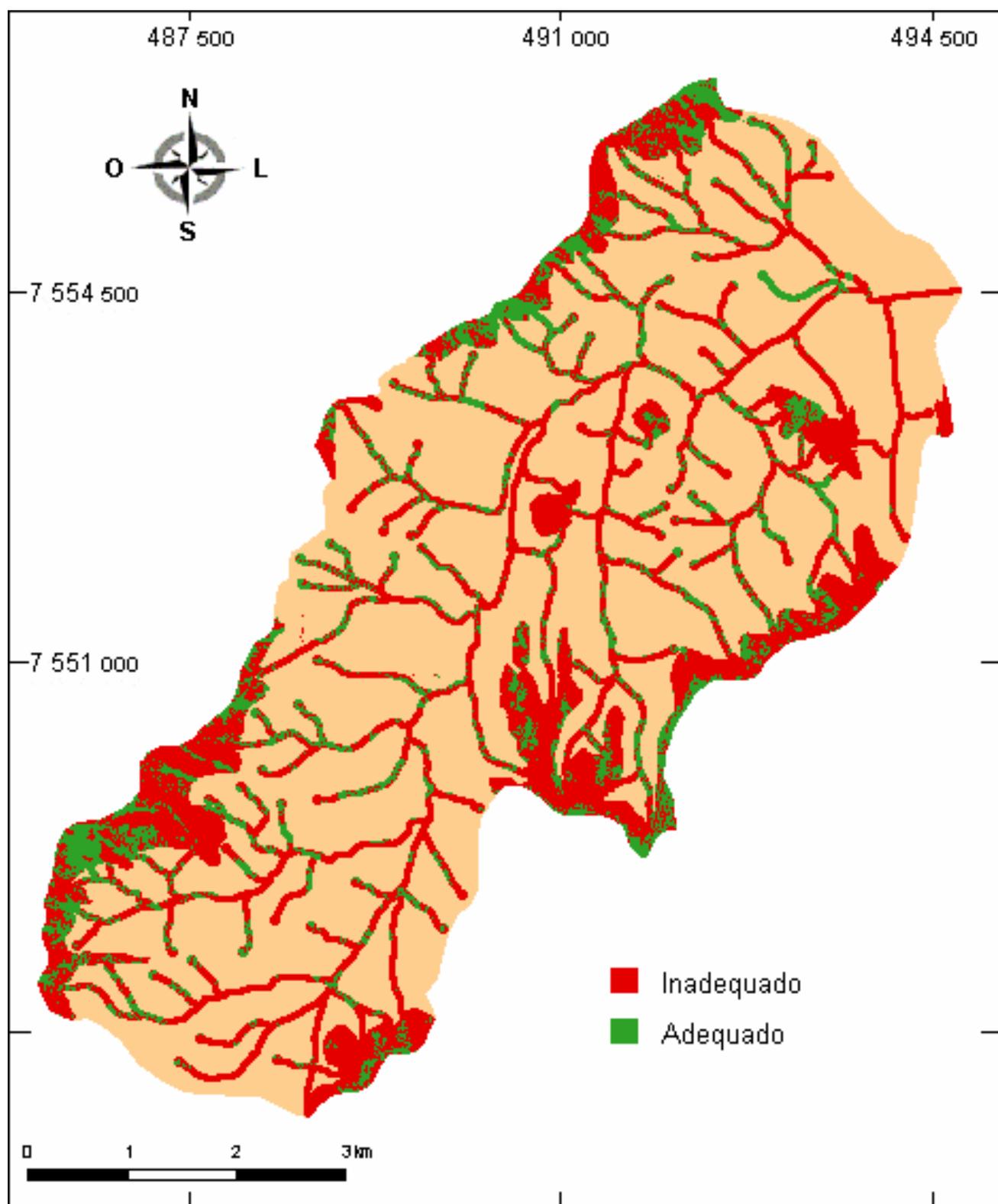


FIGURA 5.11- Mapa de uso conflitante do solo nas APPs da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004

Do total de 1.328,88 ha relativos às APPs, 950,20 ha (71,50%) são afetados por uso indevido, 271,12 ha (20,40%) são ocupados por capoeira e várzeas e apenas 107,56 ha (8,10%) estão cobertos por fragmentos florestais nativos.

Os resultados mostram o não cumprimento da legislação ambiental referente ao uso e ocupação do solo nas APPs das nascentes, cursos d'água, áreas com declividade acima de 45° e terço superior de morros, montanhas e linha de cumeada. Evidencia-se, assim, a necessidade de um plano de recomposição da vegetação dessas áreas (950,20 ha), uma vez que os desmatamentos e outros usos incorretos do solo refletem na quantidade e qualidade da água da bacia hidrográfica.

5.5 Vulnerabilidade Natural dos Aquíferos

Conforme Hirata *et al.* (1997), o mapa de vulnerabilidade é um instrumento básico para o planejamento de uso do solo, pois define áreas de maior e menor susceptibilidade à poluição antrópica.

A TABELA 5.5 mostra os valores de área e porcentagem das classes de vulnerabilidade, calculados a partir do mapa de vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço (FIGURA 3.7). A definição das classes de vulnerabilidade encontra-se no item 3.3 deste trabalho.

TABELA 5.5- Área total e distribuição percentual das classes de vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço.

Classes de vulnerabilidade	Área (ha)	Percentual da bacia
Baixa	3.048,80	76,78
Moderada	252,48	6,36
Alta	669,68	16,86
Total	3.970,96	100

Pelos dados da TABELA 5.5 observa-se que as áreas de alta vulnerabilidade ocupam 669,68 ha, ou seja, 16,86% da área total da bacia. As áreas de vulnerabilidade moderada cobrem 252,48 ha (6,36% da área total) e, as áreas de vulnerabilidade baixa totalizam 3.048,80 ha (76,78%).

5.6 Uso do solo nas Áreas de Alta Vulnerabilidade Natural dos Aqüíferos

Segundo Coridola *et al.* (2005), uma das formas mais adequadas para se preservar a qualidade das águas subterrâneas é relacionarmos as características naturais do terreno e o desenvolvimento da região, através do conceito de vulnerabilidade à contaminação antrópica.

Nas áreas de alta vulnerabilidade as água subterrâneas são mais suscetíveis à poluição antrópica, por isso, a ocupação dessas áreas deve ser precedida de estudos detalhados. Para Hirata *et al.* (1997), nas áreas de alta vulnerabilidade, estudos que contemplem as águas subterrâneas em fases anteriores à instalação do empreendimento é uma exigência.

Na TABELA 5.6 encontram-se os valores das classes de uso do solo nas áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004 e na FIGURA 5.12 suas distribuições espaciais.

TABELA 5.6- Uso do solo nas áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004.

Uso do solo	Vulnerabilidade alta	
	ha	%
Área edificada	38,84	5,80
Mata	33,16	4,95
Pastagem	240,80	35,96
Agricultura	175,92	26,27
Capoeira/várzeas	180,96	27,02
Total	669,68	100,00

Os dados da TABELA 5.6 mostram que a classe de uso do solo predominante nas áreas de alta vulnerabilidade é a pastagem, que ocupa 240,80 ha, ou seja, 35,96% do total das áreas de alta vulnerabilidade. A agricultura cobre 26,27% (175,92 ha) do total dessas áreas e a área edificada ocupa 5,80% (38,84 ha). Estes tipos de uso geram fontes de poluição, como comentado no item 2.1.1, e associados às áreas de alta vulnerabilidade podem causar a contaminação dos aqüíferos.

A área coberta por mata nativa representa 4,95% (33,16 ha) do total das áreas de alta vulnerabilidade. Capoeira e várzeas somam 180,96 ha (27,02%).

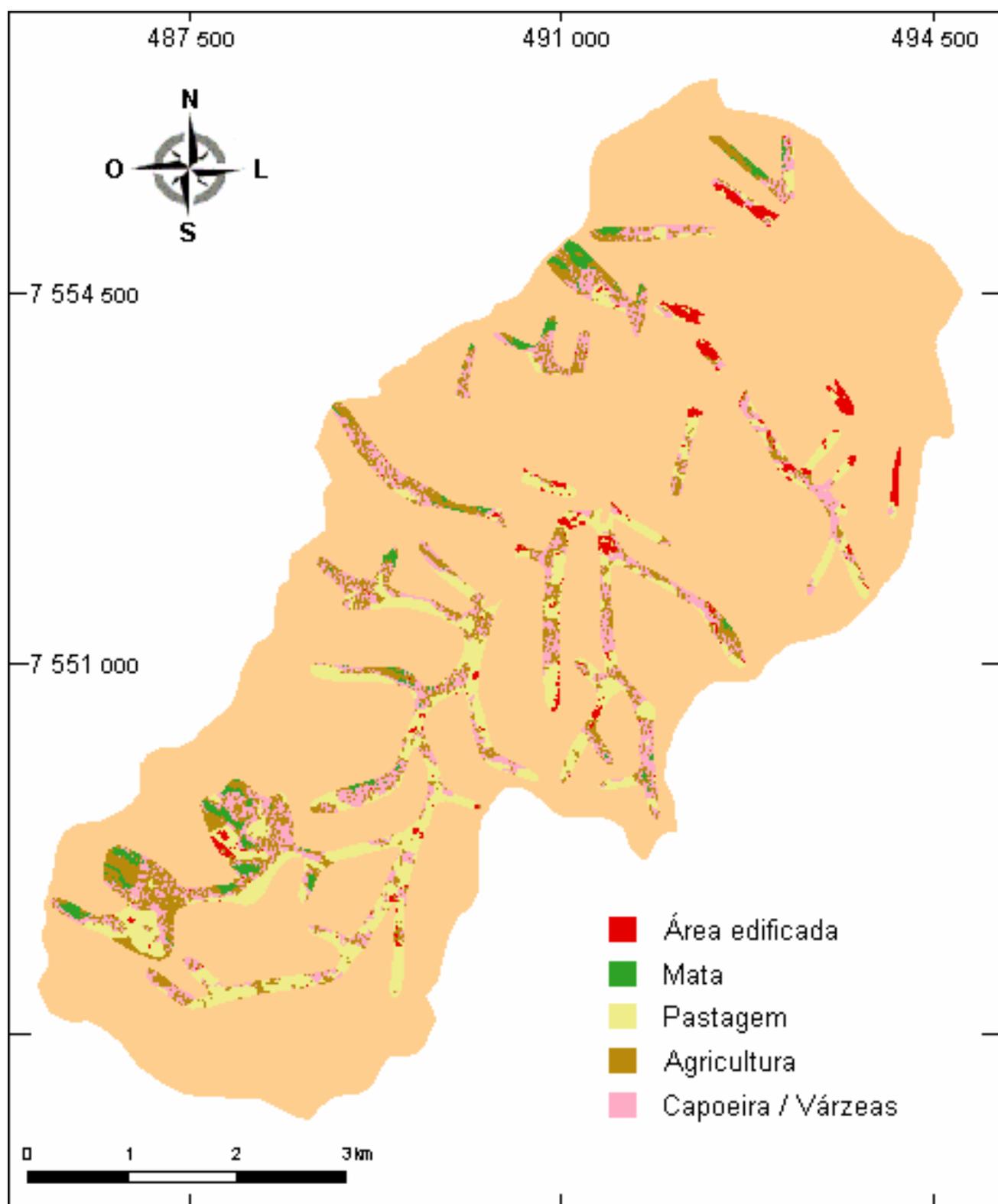


FIGURA 5.12- Mapa de uso do solo nas áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004

5.7 Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Alta Vulnerabilidade Natural dos Aqüíferos

Através do cruzamento do mapa com todas as áreas de preservação permanente e o mapa de vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço observou-se que, as áreas de preservação permanente cobrem parcialmente as áreas de alta vulnerabilidade, como mostra a FIGURA 5.13.

Do total de 669,68 ha relativos às áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço, 354,44 ha (52,93% do total das áreas de alta vulnerabilidade) estão localizados em áreas de preservação permanente e conseqüentemente, devem ser preservados. As áreas de alta vulnerabilidade localizadas fora de APPs correspondem a 315,24 ha (47,07%) e, desta maneira, ficam expostas a todo tipo de degradação.

Devido à importância das áreas de alta vulnerabilidade não cobertas pelas APPs (315,24 ha) para a proteção dos aqüíferos, pressupõe-se que elas deveriam ter um manejo diferenciado. A incorporação dessas áreas às de preservação permanente da bacia hidrográfica contribuiria para a proteção das águas subterrâneas e para a melhoria da forma e função ambiental das APPs, pois são áreas totalmente superpostas, como pode ser visto na FIGURA 5.13.

Com a incorporação de tais áreas às APPs, a área total a ser preservada na bacia do Ribeirão São Lourenço passaria de 1.328,88 ha para 1.644,12 ha, o que representa 41,40% da área total da bacia. Destes, 1.161,04 ha (70,62%) estão sob uso inadequado e 483,08 ha (29,38%) encontram-se sob uso adequado (FIGURA 5.14). Assim, a área a ser recomposta na bacia passaria de 950,20 ha para 1.161,04 ha.

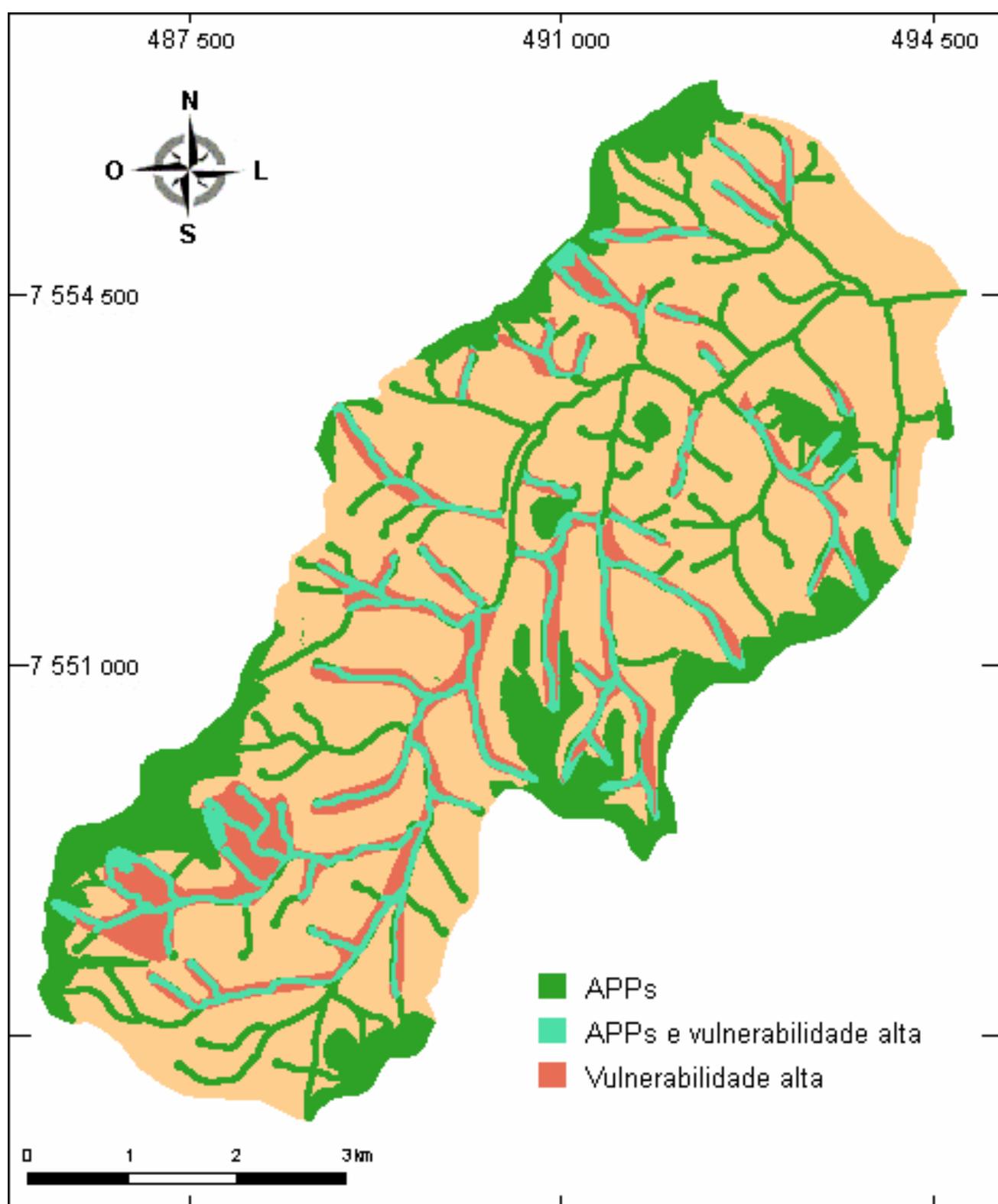


FIGURA 5.13- Mapa contendo todas as APPs e áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço

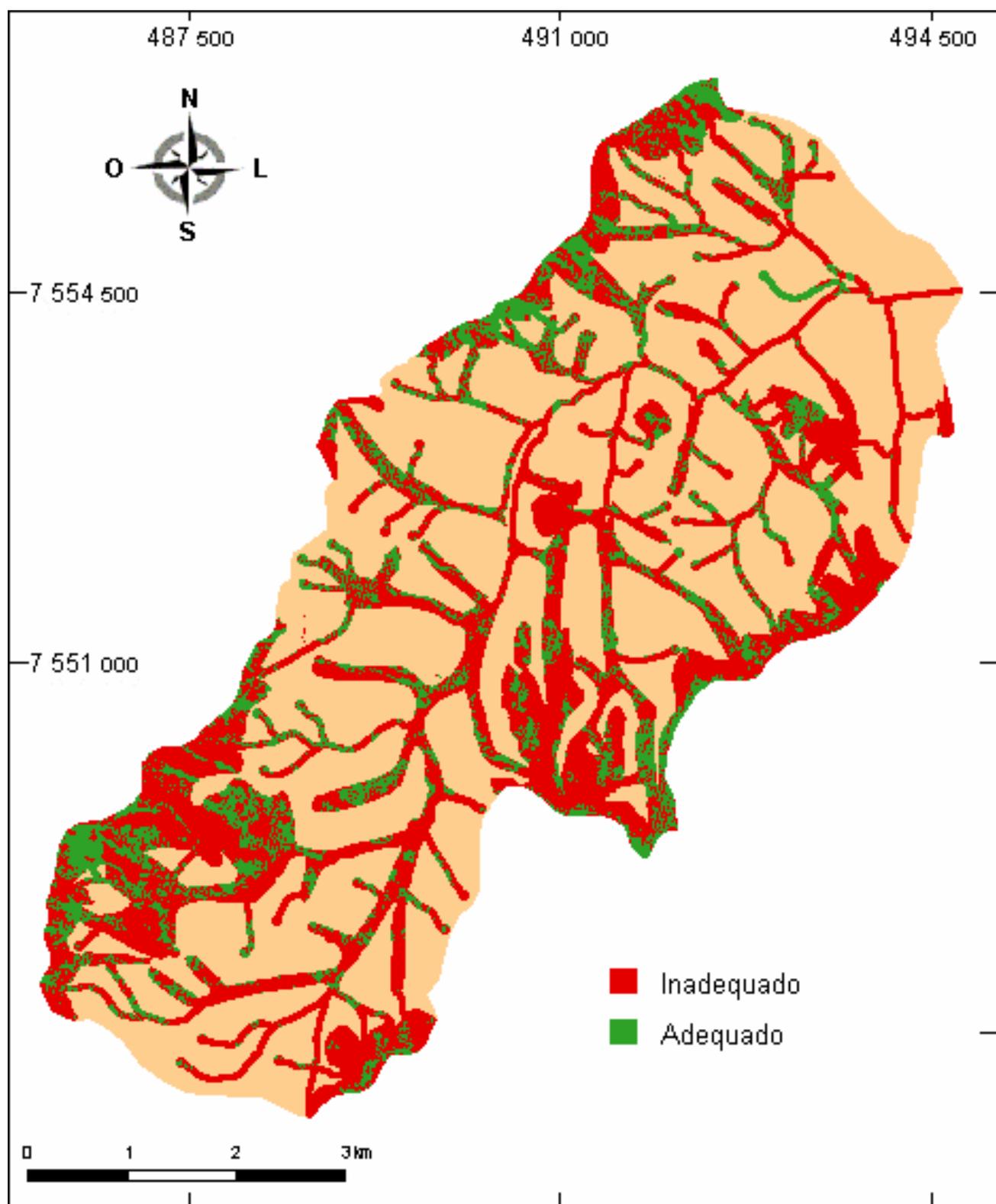


FIGURA 5.14- Mapa de uso conflitante do solo nas APPs e áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004

Na FIGURA 5.15 encontram-se as distribuições espaciais das classes de uso do solo nas áreas de preservação permanente e áreas de alta vulnerabilidade da bacia e na TABELA 5.7 seus valores de área e porcentagem.

TABELA 5.7- Uso do solo nas APPs e áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004.

Uso do solo	APPs		Vulnerabilidade alta	
	ha	%	ha	%
Área edificada	121,72	9,16	17,20	5,46
Mata	107,56	8,10	13,92	4,42
Pastagem	471,24	35,46	110,40	35,02
Agricultura	357,24	26,88	83,24	26,40
Capoeira/várzeas	271,12	20,40	90,48	28,70
Total	1.328,88	100	315,24	100

Os dados da TABELA 5.7 mostram que a área edificada ocupa 9,16% das APPs e 5,46% das áreas de alta vulnerabilidade o que dificulta a recuperação das mesmas.

Verificou-se que 519,08 ha de vegetação nativa (89,84 ha de mata e 429,24 ha de capoeira e várzeas) estão localizados fora de APPs e de áreas de alta vulnerabilidade da bacia. Por outro lado, neste trabalho não foram consideradas as áreas de reserva legal, previstas no Código Florestal, as quais devem abranger 20% de cada propriedade rural.

Conforme dispõe o artigo 3º da Resolução CONAMA nº 302 de 20 de março de 2002, a APP do lago do Parque das Águas deve abranger 30 metros no seu entorno. Esta área é equivalente a 2,88 ha, o que representa 0,07% da área total da bacia. O conflito de uso aí existente é devido à área edificada, o que dificulta a sua recuperação e não foi incluído às áreas que devem ser recompostas na bacia do Ribeirão São Lourenço.

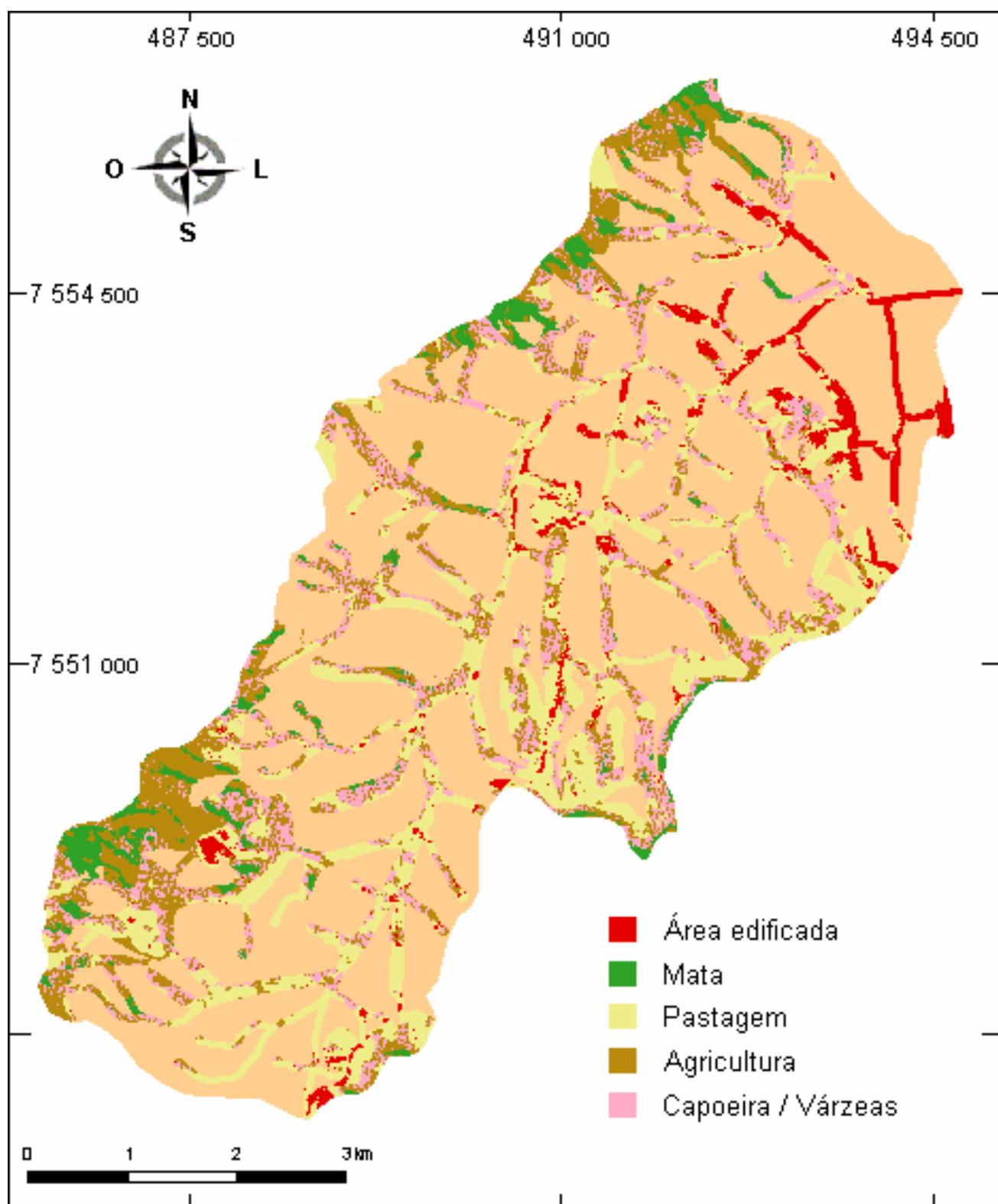


FIGURA 5.15- Mapa de uso do solo nas APPs e áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço no ano de 2004

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço é importante para a vida e a paisagem da cidade de São Lourenço, pois além de conter as principais áreas de recarga dos mananciais de água mineral, seu curso d'água principal corta a cidade praticamente ao meio e a atravessa em seu ponto mais nobre.

O mapa de uso do solo mostra que a bacia do Ribeirão São Lourenço encontra-se bastante impactada pela ação antrópica. As áreas de mata nativa sofreram intensa devastação e foram substituídas principalmente por pastagens. Grande parte da área da bacia do Ribeirão São Lourenço pertence ao município de Carmo de Minas. A recuperação da bacia dependerá de uma parceria entre as prefeituras de São Lourenço e Carmo de Minas. A infra-estrutura turística de São Lourenço e o incremento do turismo rural poderiam servir de incentivo para a diversificação da atividade econômica de Carmo de Minas, hoje baseada na agricultura e pecuária, e despertar neste município o interesse em preservar esta bacia.

O SIG IDRISI permitiu a delimitação das APPs de cursos d'água, nascentes e encostas com declividade superior a 45°. Devido às dificuldades impostas pela legislação - que adota critérios com base na topografia - para a delimitação das APPs de topos de morros, montanhas e linha de cumeada foi necessário o uso do SIG IDRISI juntamente com o programa TrackMaker.

A área de preservação permanente representa 33,46% (1.328,88 ha) da área total da bacia. A maior parte das APPs (71,50%) encontra-se sob uso inadequado. Fica claro o não cumprimento da legislação ambiental e a necessidade de um plano de recomposição dessas áreas com vegetação nativa, pois os desmatamentos e os usos incorretos do solo refletem na quantidade e qualidade da água da bacia.

As APPs de cursos d'água respondem pela maior extensão das áreas protegidas e apresentam a maior redução em área de mata.

As APPs correspondentes às encostas com declividade superior a 45° ocupam uma área restrita da bacia, mas são importantes para a recarga dos aquíferos.

As áreas de alta vulnerabilidade natural ocupam 16,86% (669,68 ha) da área total da bacia. Cerca de 68% dessas áreas estão sob usos que podem causar a contaminação das águas subterrâneas.

As áreas de alta vulnerabilidade encontram-se parcialmente localizadas em áreas de preservação permanente e conseqüentemente resguardadas pela legislação ambiental. Para as áreas de alta vulnerabilidade localizadas fora de APPs (315,24 ha) deve-se adotar um manejo diferenciado, tendo em vista a preservação da qualidade das águas subterrâneas. Se tais áreas fossem incorporadas às APPs, a área a ser preservada na bacia seria de 1.644,12 ha, dos quais, 70,62% estão sob uso inadequado.

A vegetação nas APPs e áreas estratégicas para a proteção dos aquíferos contribuirá para a preservação das águas minerais e promoverá melhorias no espaço excessivamente antropizado da cidade, com benefícios para os seus habitantes.

As técnicas de geoprocessamento foram essenciais para análise do uso do solo nas APPs e áreas de alta vulnerabilidade natural da bacia do Ribeirão São Lourenço. Assim, esta pesquisa fornece um banco de dados para futuro planejamento e gerenciamento de uso e ocupação do solo e ressalta a existência de ferramentas para dar suporte à integração de dados, como os sistemas de informação geográfica, que tornam mais ágil e dinâmica a construção de diferentes visões sobre o mesmo espaço.

Como propostas para a continuidade deste trabalho recomenda-se:

- Estudo de desenvolvimento integrado de turismo para São Lourenço e Carmo de Minas com vistas à recuperação das áreas degradadas da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço.
- Estudo para a quantificação do incremento de recarga dos aquíferos a partir da recuperação das áreas degradadas da bacia.
- Estudo de técnicas de manejo para as áreas de alta vulnerabilidade localizadas fora de APPs.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil**. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2005. 74 p. Disponível em:

<http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/02b%20Panorama%20da%20Qualidade%20%C1guas%20Subterr%E2neas/VF%20Qualidade%20AguasSubterraneas.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2006.

ARAÚJO, S. M. V.G. de. **As áreas de preservação permanente e a questão urbana**. Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, Brasília, ago. 2002. Disponível em:

<www2.camara.gov.br/publicacoes/estnottec/tema14/pdf/207730.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2006.

BARBOSA, L. M. (Coord.). **Manual para recuperação de áreas degradadas em matas ciliares do estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2006. 147 p. Disponível em: <http://www.ibot.sp.gov.br/curso_rad/apostila_final.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2006.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. da. **Aqüífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba: Maxigráfica, 2004. 214 p.

BRASIL. Decreto-Lei nº 7.841, de 8 de agosto de 1945. Código de Águas Minerais. Diário Oficial, Brasília, DF, 8 ago. 1945. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=3>>. Acesso em: 18 set. 2006.

BRASIL. Decreto-Lei nº 227, de 27 de fevereiro de 1967. Código de Mineração. Diário Oficial, Brasília, DF, 27 fev. 1967. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=67&IDPagina=84&IDLegislacao=4>>. Acesso em: 18 set. 2006.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/L4771.htm>>. Acesso em: 20 mar. 2005.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L6938.htm>>. Acesso em: 16 jan. 2007.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 3.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L9433.htm>>. Acesso em: 16. jan. 2007.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. 27 ed. São Paulo: Saraiva, 2001.

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Clarendon Press, 1986. 194 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V.(Orgs.). **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Disponível

em:<<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acesso em: 20 Fev. 2005.

CAPUCCI, E.; MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; MONSORES, A. L. M. **Poços tubulares e outras captações de águas subterrâneas – orientação aos usuários**. Niterói: DRM-RJ, 2001. 66 p. Disponível em:

<http://www.drm.rj.gov.br/download/Pocos_tubulares.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2006.

CELESTINO, T. B.; DINIZ, N. C. Informática. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A.de. (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. cap. 14, p. 227-241.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 302, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30202.html>>. Acesso em: 20 mar. 2005.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 20 mar. 2005.

CORIDOLA, R.; VIEIRA, E. M.; ALVES, M. da G.; ALMEIDA, F. T. de. Uso das técnicas de geoprocessamento na elaboração de mapa preliminar de vulnerabilidade dos aquíferos do município de Campos de Goytacazes – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2933-2940. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.19.27/doc/2933.pdf>>. Acesso em: 7 dez. 2006.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Projeto Circuito das Águas do Estado de Minas Gerais** - Estudos Geoambientais das Fontes Hidrominerais de Águas de Contendas, Cambuquira, Caxambu, Lambari e São Lourenço. Belo Horizonte, 1999a. 142 p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Relatório Técnico de Avaliação do Teste de Bombeamento no Poço Primavera no Parque das Águas de São Lourenço – MG**. Belo Horizonte, 1999b.

EASTMAN, J. R. **IDRISI for Windows**: introdução e exercícios tutoriais. Porto Alegre: UFRGS Centro de Recursos Idrisi, 1998 (Trad. Heinrich Hasenack e Eliseu

Weber). Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/~cridrisi>>. Acesso em: 23 fev. 2005.

FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Coords.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 2. ed. Fortaleza: CPRM/REFO, LABHID–UFPE, 2000. 391 p.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Diretoria de Assessoramento e Programas Especiais. **Diretrizes para o desenvolvimento da estrutura urbana de São Lourenço**. Belo Horizonte, v.1, 1985.

HIRATA, R.; FERNANDES, A.; YOSHINAGA, S.; ALMODOVAR, M.; BERNARDES JR., C. **Estudo para localização de fontes de águas não carbo-gasosas**. São Lourenço: Empresa de Águas São Lourenço S.A., 1994.

HIRATA, R. Recursos hídricos. In: TEIXEIRA, W. *et al.* (Orgs.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. cap. 20, p. 421-444.

HIRATA, R. C. A; BASTOS, C. R. de A.; ROCHA, G. de A (Coords.). **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: IG/ CETESB/ DAEE, 1997. v.1, 129 p.

HOTT, M. C.; GUIMARÃES, M.; MIRANDA, E. E. de. Um método para a determinação automática de áreas de preservação permanente em topos de morros para o Estado de São Paulo. Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite – EMBRAPA, Campinas. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br/conteudo/aplicacoes/topodemorro.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. São Lourenço – folha topográfica SF-23-Y-B-III-2. Escala: 1: 50.000. 1971.

IGA – Instituto de Geociências Aplicadas. Mapa Topográfico de São Lourenço – MG, escala 1: 30.000. Belo Horizonte, 1983.

IGM – Instituto Geológico e Mineiro. **Água subterrânea: conhecer para preservar o futuro**. Portugal: Instituto Geológico e Mineiro, 2001. Disponível em: <http://e-geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/agua_subterranea/poluicao.htm>. Acesso em: 26 dez. 2006.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **CBERS – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres**. Disponível em: <http://www.cbbers.inpe.br/pt/index_pt.htm>. Acesso em: 2 mar. 2005.

JORGE, F. N. de; UEHARA, K. Águas de superfície. In: OLIVEIRA, A. M. dos S.; BRITO, S. N. A. de (Eds.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 101-109.

KARMANN, I. Ciclo da água, água subterrânea e sua ação geológica. In: TEIXEIRA, W. *et al.* (Orgs.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2003. cap. 7, p. 113-138.

MAGALHÃES, C. de S.; FERREIRA, R. M. A. Áreas de preservação permanente em uma microbacia. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 33-39, nov./dez. 2000.

MARTINS, A. M.; MANSUR, K. L.; ERTHAL, F. L. da C.; MAURÍCIO, R. da C.; PEREIRA FILHO, J. C.; CAETANO, L. C. **Águas minerais do estado do Rio de Janeiro**. Niterói: DRM-RJ, 2002. 121 p.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.

MESQUITA, I. R.; SILVA, R. G. da; SANTOS, M. do C. **Geologia hidrogeologia e área de proteção ambiental**. São Lourenço: Empresa de Águas São Lourenço S.A., 2001.

MORAES, E. C. Fundamentos de sensoriamento remoto. In: **Curso de uso escolar do sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente**. (Apostila). DSR / INPE, 2003. cap. 1, p. 1-22. Disponível em:
<<http://www.dsr.inpe.br/vcsr/html/programa.htm>>. Acesso em: 3 mar. 2005.

MOREIRA, A. de A.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, J. C.; SILVA, E. Determinação de áreas de preservação permanente em uma microbacia hidrográfica a partir de fotografias aéreas de pequeno formato. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p.1381-1389. Disponível em:
<marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2003/03.28.12.35/doc/goto- /ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.12.11.06>. Acesso em: 30 maio 2006.

MOSCA, A. A. de O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. 2003. 96 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-20082003-170146/publico/andreia.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2006.

NASCIMENTO, M. C. do; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. Delimitação automática de áreas de preservação permanente (APP) e identificação de conflito de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Alegre. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 16-21. Disponível em:
<marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/10.18.18.26/doc/2289.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2006.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto – princípios e aplicações**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1995. 308p.

OBATA, O. R.; CABRAL JUNIOR, M.; SINTONI, A. (Coords.). **Águas minerais – orientação para regularização e implantação de empreendimentos**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2005. CD-ROM.

PINTO, L. V. A.; FERREIRA, E.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C. Caracterização física da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. **Cerne**, Lavras, v.11, n.1, p. 49-60, jan./mar.2005. Disponível em: <www.dcf.ufla.br/cerne/Revistav11n1-2005/06%20artigo%20012%20Editorado.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2006.

PINTO, L. V. A. **Caracterização física da sub-bacia do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG, e propostas de recuperação de suas nascentes**. 2003. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. Disponível em: <www.cemac-ufla.com.br/biblioteca/Dissertações/Lilian%20Vilela%20Andrade%20Pinto_pdf.pdf>. Acesso em: 19 out. 2006.

REBOUÇAS, A. da C. Águas subterrâneas. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2002. cap. 4, p. 119-151.

RIBEIRO, C. A. A. S.; SOARES, V. P.; OLIVEIRA, A. M. S.; GLERIANI, M. O desafio da delimitação de áreas de preservação permanente. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 203-212, 2005. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/rarv/v29n2/a04v29n2.pdf>. Acesso em: 30 maio 2006.

ROCHA, J. V. O sistema de informações geográficas no contexto do planejamento integrado de bacias hidrográficas. Disponível em: <<http://www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/livro/C20-SIGPIBH-Jansle.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2006.

SARMENTO, E.C.; WEBER, E.; HASENACK, H. Avaliação da situação da cobertura florestal na bacia do Rio Cadeia/Feitoria e identificação de áreas críticas usando técnicas de geoprocessamento. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Centro de Ecologia, maio 2001. Disponível em: <file:///G:/mod_usuario/uso-02/1139/1139.htm>. Acesso em: 22 mar. 2006.

SILVA, A. B. **Sistemas georreferenciados de informação: uma introdução**. (Apostila). Campinas: Unicamp, 1994.

STAR, J.; ESTES, J. **Geographic information systems: an introduction**. New Jersey: Prentice-Hall, 1990. 303 p.

STEFFEN, C. A. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Disponível em: <<http://www.herbario.com.br/fotomicrografia07/introdsensoramentoremoto.htm>>. Acesso em: 11 set. 2006.

SZIKSZAY, M. **Geoquímica das águas**. Boletim IG-USP. Série Didática. Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 1993.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

WORBOYS, M. F. **GIS: a computing perspective**. London: Taylor & Francis Ltd, 1997. 376 p.

ZIMBRES, E. **Guia avançado sobre água subterrânea**. MeioambienteproBR. Disponível em: <<http://www.meioambiente.pro.br>>. Acesso em: 11 dez. 2006.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ABAS – Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. **Águas subterrâneas.**

Disponível em:

<http://www.abas.org/index.php?PG=aguas_subterraneas&SPG=aguas_subterraneas_as#2>. Acesso em: 28 jul. 2006.

AQUINO, B. de M.; CAMPOS, M. A. de O.; GUEDES NETO, R. **Gestão integrada:** uma proposta para a exploração sustentável de águas minerais. 2003. 134 p.

Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ATTANASIO, C. M.; LIMA, W. de P.; GANDOLFT, S.; ZAKIA, M. J. B.; VENIZIANI JÚNIOR, J. C. T. Método para a identificação da zona ripária: microbacia hidrográfica do Ribeirão São João (Mineiros do Tietê, SP). **Scientia Florestalis**, n. 71, p. 131-140, ago. 2006. Disponível em:

<<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr71/cap13.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2006.

BACIA HIDROGRÁFICA. Disponível em:

<www.shs.eesc.usp.br/graduacao/disciplinas/shs403/download/bacia-hidrografica.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2006.

BROWN, L. R. **Um deserto cheio de gente.** Worldwatch Institute / Universidade Livre da Mata Atlântica, 2001. Disponível em:

<<http://www.wwiuma.org.br/artigos/010.html>>. Acesso em: 12 nov. 2006.

CAMPOS, S.; ARAÚJO JÚNIOR, A. A.; BARROS, Z. X.; CARDOSO, L. G.; PIROLI, E. L. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso da terra em microbacias hidrográficas, Botucatu – SP. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 431-435, maio/ago. 2004. Disponível em:

<<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v24n2/v24n2a23.pdf>>. Acesso em: 7 nov. 2006.

COSTA, T. C. e C. da; SOUZA, M. G. de; BRITES, R. S. Delimitação e caracterização de áreas de preservação permanente, por meio de um sistema de informações geográficas (SIG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996. p. 121-127. Disponível em:

<<http://marte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/01.27.16.17/doc/T48.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2006.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Perspectivas do meio ambiente do Brasil:** uso do subsolo. Belo Horizonte, 2002. Disponível em:

<<http://www.cprm.gov.br/pdf/cprm.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2006.

DRM – Departamento de Recursos Minerais. **Águas subterrâneas.** Disponível em:

<<http://www.drm.rj.gov.br/projeto.asp?chave=6>>. Acesso em: 11 dez. 2006.

FALCÃO, H. **Perfil analítico de águas minerais**. Rio de Janeiro, DNPM, boletim 49, v.2, 1978. 160

GORGULHO, M. F. **GPS TrackMaker** – Apostila sobre GPS. set. 2004. Disponível em: <<http://www.gpstm.com/articles.php?lang=port&article=12>>. Acesso em: 15 nov. 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro, IBGE, Manuais técnicos em geociências, n. 8, 1999. 130 p.

IGA – Instituto de Geociências Aplicadas. Diretoria de Geociências. **Mapeamento Geoambiental da Região do Circuito das Águas – MG**. Belo Horizonte, 2000. 239 p.

MÜLLER, M. S.; CORNELSEN, J. M. **Normas e padrões para teses, dissertações e monografias**. 5. ed. Londrina: Eduel, 2003. 155 p.

NASCIMENTO, M. C. do, SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do Rio Alegre, Espírito Santo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 207-220.

NUNES, E.; LIMENA, M. M. C.; BORELLI, S. H. S. A importância sócio-econômica e cultural da água mineral no Brasil. PUC, São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://ambicenter.com.br/agua002.htm>>. Acesso em: 17 ago. 2004.

OLIVEIRA, E. G. de. **Hidrogeoquímica aplicada na avaliação do impacto ambiental em áreas de lavra de areia**. 2000. 113 p. Tese (Doutorado - Geoquímica, Hidrogeologia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

PARQUE DAS ÁGUAS. **São Lourenço, 100% qualidade de vida, Minas Gerais – Brasil**. (folheto informativo). 2006.

PEREIRA, T. M. D. **Recuperação ambiental na Serra dos Toledos, Itajubá, MG**. 2005. 88 p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

REBOUÇAS, A. da C. **Águas subterrâneas nas grandes metrópoles: água subterrânea no novo modelo do saneamento básico**. Instituto de Estudos Avançados - USP. Disponível em: <<http://www.unesco.org.uy/phi/libros/estrategias/art07.html>>. Acesso em: 12 nov. 2006.

SILVA, J. F., RODRIGUES, S. C. Síntese ambiental e evolução do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Córrego do Salto, Uberlândia (MG). **Caminhos de Geografia** – revista on line, v. 6, n. 12, p. 114-127, jun. 2004.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS / ABRH, 2002. cap. 2, p. 34-51.

SILVEIRA, E. M. de O.; CARVALHO, L. M. T. de; SILVA, A. M. da. Uso conflitivo do solo nas áreas de preservação permanente do município de Bocaina de Minas / MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1673-1680.